Der

Weltäther

als

Wesen des Schalles.

Von

Heinrich Karl,

fürstlich hohenzollern'schem Hofkammer- und Forst-Rath a. D.

Sigmaringen, 1872.

Druck und Verlag der Hofbuchhandlung von C. Tappen.

Berichtigung:

Seite 64, vierte Zeile von unten ist statt „abhängige" zu lesen: „unabhängige."

Vorwort.

Unter den Hypothesen der Naturlehre erschien dem Verfasser dieser Abhandlung diejenige stets am wenigsten befriedigend, welche den Schall als die Wahrnehmung von Körperschwingungen durch den Gehörsinn bezeichnet, und also annimmt, daß die unmittelbaren Einwirkungen schwingender Körperbewegungen selbst es seien, die in den Gehörorganen die Empfindung des Schalles hervorbringen. Deßhalb hat er auch diesem Zweige der Naturwissenschaft seit einer langen Reihe von Jahren eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet, und er ist bei seinen Beobachtungen und Forschungen zu den auf den folgenden Blättern dargelegten Resultaten gelangt, welche von den in der Schalllehre bis jetzt geltenden Ansichten wesentlich abweichen.

Aber eben wegen dieser wesentlichen Abweichung von dem bis dahin, trotz anderweitiger großer Fortschritte auf dem Gebiete dieser Wissenschaft unverändert gebliebenen Fundamentalsatze der Schalllehre, trat dem Verfasser lange Zeit Zweifel und ein gewisses Mißtrauen gegen seine eigenen Ansichten entgegen, und darin ist der Grund zu suchen, daß derselbe von dieser schon vor Jahren niedergeschriebenen kleinen Abhandlung bis jetzt keinen Gebrauch machte, und es nicht wagte, mit seinen gewonnenen Resultaten vor das Publikum zu treten.

Doch haben fortgesetzte Studien auf diesem Gebiete und wiederholte Prüfungen des gewonnenen Resultates seine Ansichten nicht nur nicht geändert oder geschwächt, sondern bestärkt und

befestigt, und da er zu der Ueberzeugung gelangt zu sein glaubt, daß sich auf dem von ihm betretenen Wege sämmtliche Erscheinungen auf dem Gebiete der Akustik ohne jeden Zwang vollkommen befriedigend erklären lassen, so wagt er es nunmehr, das Ergebniß seiner Forschungen der unbefangenen Prüfung und Beurtheilung der Wissenschaft zu unterstellen.

Hierbei wird es kaum nöthig sein, hinzuzufügen, daß dem Verfasser nichts ferner lag, als einen auf das neue Fundament gegründeten vollständigen Neubau dieser Wissenschaft durchzuführen; er wollte sich eben nur auf die Herstellung des neuen Fundamentes beschränken, in der Ueberzeugung, daß der Weiterbau den Fachmännern zu überlassen sei, vorausgesetzt, daß das neue Fundament als das richtige werde erkannt werden.

Erste Abtheilung.

Betrachtungen über die derzeitige Schalltheorie.

§ 1.

Grundlage der derzeitigen Schalltheorie.

Ueber das Wesen des Schalles finden wir in den hieher bezüglichen Schriften u. a. folgende Definitionen:

„Die Vibrationsbewegung irgend eines Körpers, welcher „rings von Luft umgeben ist, bringt in derselben eine „Wellenbewegung hervor, welche, bis zu unserem Ohr fort„gepflanzt, die Empfindung des Schalles hervorbringt.“ (Seite 275 der Physik von Dr. Johann Müller vom Jahr 1844.)

„Die Wahrnehmung von Schwingungen in der Luft oder „festen Körpern durch den Gehörsinn, nennen wir Schall.“ (Seite 189 der Physik von Dr. W. Eisenlohr vom Jahr 1863.)

„Wenn in einem mit unserem Gehörorgane durch irgend „einen Stoff in Verbindung stehenden Körper das Gleichge„wicht auf kräftige Weise einmal oder minder intensiv durch „rasch auf einander folgende Schwingungen eines Körpers „oder seiner Theile wiederholt gestört wird, so nehmen wir „einen Schall wahr. Der Schall ist also nichts Konkretes, „sondern er gibt nur den Begriff für einen gewissen Bewe„gungszustand der Körper an.“ (Seite 180 der Physik von Ph. Spiller vom Jahre 1869.)

Nun sind aber die Umstände, welche die Erzeugung und Wahrnehmung des Schalles bedingen und begleiten, nicht selten von der Art, daß man bei einer nähern Betrachtung derselben zu so manchen Bedenken und Fragen hingedrängt wird, die aus den Vibrations-Bewegungen der Körper allein, theils gar nicht, theils nur ungenügend erledigt werden können.

Von diesen Bedenken und Fragen werden wir die wichtigeren und maßgebenderen in diesem ersten Theil der gegenwärtigen Abhandlung zur Erörterung bringen.

Als Beweis dafür, daß das, was in unserem Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringt, in einer vibrirenden Bewegung der Luft und andern Körpern bestehe, wird beispielsweise auch angeführt, daß durch das Abfeuern einer Kanone oder eines anderen größeren Geschützes Fensterscheiben und andere Körper in hohem Grade erschüttert und unter Umständen zertrümmert werden können.

Daß das Abfeuern von Pulvergeschützen solche und ähnliche Erscheinungen im Gefolge hat, ist eine Thatsache, die in keiner Weise in Abrede gestellt werden kann.

Ob aber diese Erschütterungen durch denselben Act der Luftbewegung erzeugt werden, aus welchem der Schall oder Knall des Geschützes resultirt, und ob dieser Knall als das Ergebniß schwingender Luftbewegungen zu betrachten sei, sind Fragen, die nach unserer Ansicht verneint werden müssen, wie sich aus dem Nächstfolgenden ergeben soll.

„Man setze (um den Druck der Luft zu zeigen) auf den „Teller der Luftpumpe einen Glascylinder mit etwas dicken „Wänden, welcher oben mit einer Thierblase verschlossen ist, „die stark angespannt und an dem Rande recht fest gebunden „sein muß. Diese Blase erleidet von beiden Seiten gleichen „Druck und bildet deßwegen eine Ebene. Wenn man nun „auf irgend eine Weise mehr Luft in den Cylinder hinein„bliese, so würde sich die Blase nach außen wölben; zieht „man umgekehrt die Luft aus dem Cylinder heraus, so ge„winnt der äußere Luftdruck das Uebergewicht und drückt „die Blase nach innen.“

„Letzteres läßt sich leicht mit Hülfe der Luftpumpe bewerk-„stelligen. Bei den ersten Kolbenzügen schon wird die Blase „nach innen gekrümmt; je mehr man auspumpt, desto mehr „nimmt die Krümmung zu. Stößt man, wenn die Blase auf „diese Weise sehr stark gespannt ist, mit einem etwas spitzen „Körper auf dieselbe, so zerreißt sie in tausend Stücke, wo-„bei man einen Knall wie einen Pistolenschuß hört. Dieser „Knall wird durch das heftige Eindringen der Luft hervor-„gebracht; man kann sich aus dieser Kraft des Eindringens „einen Begriff von der Größe des Luftdrucks machen, welcher „auf der Blase ruht." (Seite 116 der Physik von Dr. Johann Müller vom Jahre 1844.)

Hier wird also der Knall durch das heftige Zusammenströmen der Luft auf einem Punkte in dem Glascylinder erzeugt, und dieser große Effekt allein durch die Verdünnung der Luft in diesem Cylinder möglich gemacht.

„Wenn in der Masse eines überall gleich dichten und „elastischen flüssigen Körpers irgendwo eine plötzliche Stö-„rung des Gleichgewichtes eintritt, so pflanzt sich dieselbe „von diesem Orte aus um so mehr durch die Masse des „Körpers fort, je elastischer er ist. Wenn z. B. in der „atmosphärischen Luft durch Verbrennung einer Knallgas-„blase plötzlich ein luftleerer Raum entsteht, so „stürzt die atmosphärische Luft von allen Seiten „nach dem Mittelpunkte desselben, es erfolgt da-„selbst ein heftiger Stoß der Luft gegen Luft „und eine starke Verdichtung derselben." (Seite 175 der Physik von Ph. Spiller vom Jahr 1869.)

„Beim Abfeuern der Pulverwaffen und dem Entzünden „der Knallsalze bildet sich durch die Ausdehnung der er-„zeugten Gase ein luftdünner, und beim Verbrennen von „Knallgas ein fast leerer Raum, in welchen die umgebende „Luft mit so großer Geschwindigkeit stürzt, daß dadurch der „heftige Knall entsteht." (Seite 159 der Physik von Ph. Spiller 1869.)

Die Entstehung eines auf diesem oder ähnlichen Wege erzeugten Knalls beruht zwar ebenfalls, wie bei dem Experimente mit der Luftpumpe, auf einem heftigen Zusammenstoße der Luft in dem Mittelpunkte eines luftdünn oder luftleer gewordenen Raumes, allein zwischen diesem und jenem Vorgange besteht der wesentliche Unterschied, daß die auf der Blase der Luftpumpe ruhende Luft nur einen Hingang zu machen braucht um durch ihr heftiges Eindringen in den luftleeren Raum einen Knall zu erzeugen, wogegen aber die, die Pulverwaffe oder die Knallgasblase umgebende atmosphärische Luft einen Hin- und Hergang machen muß, um schließlich durch ihr heftiges Zusammenstoßen in dem Mittelpunkte des durch ihren Hingang geschaffenen luftleeren Raumes einen Knall erzeugen zu können. Hienach hat also die atmosphärische Luft, wenn sie durch ihr Eindringen in den luftleeren Raum einen Knall erzeugen soll, in dem einen Falle, nämlich bei dem Experimente mit der Luftpumpe, nur einen Hingang, im andern Falle dagegen, also bei dem Abfeuern einer Pulverwaffe einen Hin- und einen Hergang, also den doppelten Weg zu machen.

Da nun nach dem Angeführten in dem einen wie in dem andern dieser zwei wesentlich verschiedenen Fälle ein Knall erst in dem Augenblicke entsteht, in welchem die atmosphärische Luft in den Mittelpunkt eines, auf diesem oder jenem Wege erzeugten luftverdünnten Raumes mit Heftigkeit eindrängt und in Folge dessen dort Luft gegen Luft stößt, so kann auch der Entstehungsgrund eines Knalls nicht in der Bewegung der Luft vor ihrem centralen Zusammenstoße, sondern allein nur in diesem schließlichen Akte liegen.

Wenn aber hiernach bei der Knallerzeugung der Hingang der Lufttheile, also der Vollzug einer halben Schwingung in allen Fällen nur als Mittel zum Zwecke dienen kann (indem er bloß die Aufgabe hat, der die Knallquelle umlagernde Luftmasse es zu ermöglichen, in dem Mittelpunkte eines luftverdünnten Raumes mit Heftigkeit gegeneinander zu stoßen) und sonach die Erzeugung eines Knalls ganz allein auf einem einfachen Hingange, beziehungsweise auf einem Rückgange zurück gedrängter Luftmassen beruht, so darf hieraus gefolgert werden, daß entweder die Knall-

erzeugung von den sonstigen regelmäßigen Schallerzeugungen eine sehr auffallende Ausnahme mache, oder die schwingenden Bewegungen in der Luft oder in festen Körpern überhaupt das nicht selbst sein können, was in unserem Gehörsinn die Empfindung des Schalls hervorbringt.

„Mit einer guten Windbüchse kann man eine Kugel mit „ebenso großer Geschwindigkeit fortschießen, wie mit einem „Feuergewehr." (Seite 152 der Physik von Dr. J. Müller 1844.)

Bei dem Abschießen einer Kugel mit der Windbüchse erscheint, gegenüber der äußerst stark verdichteten Luft im Kolben der Büchse, die Umgebung der letzteren als ein mit verdünnter Luft erfüllter Raum, und da in Folge des heftigen und gewaltsamen Abströmens der auf's Aeußerste verdichteten Luft aus dem Rohr der Büchse, auch in diesem Falle ein heftiges Stoßen von Luft gegen Luft eintreten muß, so sollte nach dem Vorausgegangenen und nach Maaßgabe der gleichmäßigen Wirkung der Kugeln aus dem Feuergewehr und der Windbüchse, auch durch das Losschießen der letzteren ein Knall erzeugt werden können, allein die Erfahrung zeigt uns, daß aus einem solchen Akte bloß ein kurzes Zischen resultirt. Der Grund hiervon liegt in dem einfachen Umstande, daß in diesem Falle, nämlich bei dem Losschießen einer Windbüchse, immer nur ein geradliniges Eindringen eines äußerst dichten Luftstrahls in eine relativ dünne Luftmasse, nie aber ein centrales Zusammenstoßen gleich dichter Luftmassen möglich ist.

Daß die bei der Knallerzeugung sich nebenher in höherem oder geringerem Grade bemerkbar machenden Körpererschütterungen nicht durch den sich nach allen Seiten hin verbreitenden Knall bewirkt werden, sondern allein nur auf dem Drucke und Gegendrucke beruhen, welchen die atmosphärische Luft während dem Vollzuge ihrer Hin- und Hergänge auf die im Bereiche ihrer Bewegung befindlichen Körper ausübt, soll sich aus dem Nächstfolgenden ergeben.

Es wird nämlich, wie schon angedeutet wurde, in dem Augenblicke des Abfeuerns einer größeren Feuerwaffe, etwa einer Kanone zunächst die dieselbe umgebende Luft durch die weit über-

wiegende Expensivkraft der dabei freigewordenen Gase nach allen Seiten hin verdrängt, somit auch gegen die in der Umgebung befindlichen Fenster und andere feste Körper hingedrängt, und da die so bewegte Luft auf ihrem Wege dahin eine Verdichtung erleidet, welche die Dichtigkeit der auf der entgegengesetzten Seite der Fenster und anderer Körper befindlichen Luft in höherem oder geringerem Grade übersteigt, so müssen diese Körper dem stärkern äußern Drucke nach der innern Seite hin nachgeben. Nun hat aber die abströmende Luftmasse diesen Druck auf Fenster und andere feste Körper ihres Bewegungs-Gebietes kaum ausgeübt, so sucht die auf der entgegengesetzten Seite befindliche Luft in das Gebiet des luftdünn gewordenen Raumes einzudrängen und bewirkt damit ebenfalls ein Biegen oder Verschieben der dazwischen liegenden Körper nach der andern Seite.

Beinahe in demselben Momente, in welchem dieses geschieht, strömt die durch die Gase nach allen Seiten hin verdrängte Luft wieder mit Heftigkeit auf ihren Ausgangspunkt zurück, und setzt den eben bezeichneten Bestrebungen der innern oder jenseitigen Luft einen so überwiegenden Druck entgegen, daß nun wieder ein Biegen oder Verschieben der dazwischen liegenden Körper in entgegengesetzter Richtung eintreten muß.

Es kann nicht zweifelhaft erscheinen, daß in allen Fällen, in welchen die Beschaffenheit der einem solchen Drucke und Gegendrucke ausgesetzten Körpern oder deren Zusammenhang mit anderen Gegenständen ein Hin- und Herbiegen oder Verschieben derselben gestattet, nur ein Rauschen oder Klappern, oder wie bei Fenstern in weicher oder loser Fassung nur ein Klirren wahrnehmbar werden kann, im entgegengesetzten Falle aber bei den betreffenden Körpern ein Brechen oder Reißen mit verstärktem Getöse eintreten muß.

Ob eine solche zerstörende Wirkung des Luftdruckes in seinem ganzen Bereiche oder nur in einem Theil desselben und schon bei dem Ab- oder erst bei dem Zurückströmen desselben stattfindet, bleibt stets von verschiedenen Umständen, und unter anderem auch von der Größe ihres ursprünglichen Bewegungsmoments abhängig.

Daß diese Erschütterungen an den Fensterscheiben und andern Körpern den erfahrungsmäßig bekannten höhern Grad erreichen, hat seinen Grund theils in der Größe der Luftmasse die dabei in Bewegung gesetzt wird, theils in der außerordentlichen Geschwindigkeit mit welcher diese Bewegung stattfindet.

Ein interessantes, hieher bezügliches Beispiel liefert unter anderem auch die furchtbare Explosion eines Pulvermagazins bei Erith, welche im Jahre 1864 stattgefunden hat.

Auf Seite 27 der acht Vorlesungen über den Schall, von Tyndall vom Jahre 1869, ist hierüber folgendes mitgetheilt:

„Das Dorf Erith liegt einige Meilen vom Magazin ent„fernt, aber fast in allen Häusern waren die Fenster zer„brochen, und es war bemerkenswerth, daß die dem Knalle „der Explosion abgewendeten Fenster fast ebenso gelitten „hatten, wie die ihr zugekehrten. In der Kirche in Erith „waren die Fenster in Bleirahmen eingefügt, und da diese „einigermaßen biegsam sind, so konnten die Fenster dem „Druck nachgeben, ohne daß viele Glasscheiben zersprengt „wurden. Alle Fenster der Kirche, sowohl auf der Vorder„als auf der Rückseite, waren nach innen eingebogen. Als „die Schallwelle die Kirche erreichte, theilte sie sich nach rechts „und links, und für einen Augenblick war die Kirche von „einem Gürtel stark verdichteter Luft umgeben, die alle ihre „Fenster nach innen preßte. Nach der Verdichtung dehnte „sich ohne Zweifel die Luft in der Kirche aus und strebte „die Fenster in ihre erste Lage zurückzubringen. Das Ein„drücken der Fenster erzeugte indeß nur eine schwache Ver„dichtung der ganzen Luftmasse in der Kirche; der Rückdruck „war daher nur schwach im Vergleich zu der Kraft des „Zusammenpressens und genügte nicht, um die Wirkung des „letzteren aufzuheben."

Da nun nach dem oben Vorgetragenen der durch das Abfeuern einer Kanone oder durch eine Explosion überhaupt erzeugte Knall nicht, wie das Erzittern der Fensterscheiben und anderer Körper aus einem flächenförmigen Luftdrucke nach innen und nach außen, sondern aus einem centralen Zusammenstoß von Luftmassen,

also aus einem ganz andern Akt der Luftbewegung resultirt, und sonach beide Erscheinungen nur insofern einige Gemeinschaftlichkeit haben, daß sie sich beinahe in einem und demselben Moment wahrnehmbar machen; auch überdies ein Erzittern von Fensterscheiben und anderer Körper durch gewöhnliche, aus progressiven Luftbewegungen hervorgehende Windstöße bewirkt wird, so kann auch das, den Kanonendonner regelmäßig begleitende Erzittern der in der Nähe des Geschützes befindlichen Fenster und anderer Körper nicht als Beweis dafür angeführt werden, daß die vibrirende Bewegung der Luft und anderer Körper das selbst seie, was in unserem Gehörorgan die Empfindung des Schalls hervorbringt.

§ 2.

Zusammenhang der schwingenden Bewegungen der Körper mit dem Vernehmbarwerden des Schalles.

Durch Stoß oder Reibung kann jeder elastische Körper in eine schwingende, oder vibrirende Bewegung versetzt, und, wenn diese einen gewissen Grad von Geschwindigkeit erreicht, damit ein Schall erzeugt werden.

Ueber den Zusammenhang dieser Bewegung der Körper mit dem Hervortreten des Schalls oder Tones sagt Dr. Mousson auf Seite 305 seiner Physik vom Jahre 1871 folgendes:

> „Wie die tägliche Erfahrung lehrt, geht der Schall stets „von lebhaft bewegten Körpern aus, Stille und Ruhe, Schall „und Bewegung gelten meist als unzertrennliche Begriffe. „Aber auch zu kleine oder zu langsame Bewegungen, der „Flügelschlag mancher Mücken, die Bewegung der Hand werden nicht mehr gehört.“

Dieser Zusammenhang des Schalles mit den vibrirenden Bewegungen der Körper mag wohl von jeher die Ansicht unterstützt haben, daß die schwingenden Bewegungen der Körper dasjenige selbst seien, was wir Schall nennen. Bei der Erledigung der Frage: ob denn jener Zusammenhang des Schalles mit den schwin-

genden Bewegungen der Körper nur als Regel, oder für alle Fälle als unbedingte Nothwendigkeit zu betrachten seie, gelangt man zu folgenden Resultaten. Ein Körper, dessen Bewegung durch die Luft mit geringerer Geschwindigkeit vor sich geht, z. B. ein Stab, vermag dieselbe zwar mechanisch zu theilen, und auch in eine schwingende Bewegung zu versetzen, jedoch ohne dabei einen Schall oder überhaupt etwas dem Ohre Vernehmbares hervorzubringen. Ferner finden wir vielfältig, sowohl feste als flüssige Körper in zitternder oder schwingender Bewegung, ohne daß in Folge dessen ein Schall oder auch nur ein Geräusch entsteht.

So z. B. sehen wir an hellen Tagen des hohen Sommers da und dort die Luft mit großer Schnelligkeit erzittern, ohne daß diese Bewegung von irgend welchen Tönen oder Schallen begleitet ist.

Die gleiche Erscheinung bietet uns die über jedem stark erwärmten Rauchfang schwebende Luft dar. Auch weist uns die derzeitige, hinsichtlich der Grenzen der Hörbarkeit des Schalles, bestehende Erfahrung aus den vielfältigsten und gründlichsten Versuchen nach:

1. Daß wenn man einige verhältnißmäßig kleine Abweichungen unbeachtet läßt, ein schwingender Körper während einer Sekunde 16 doppelte oder 32 einfache Schwingungen machen muß, wenn in uns das Wahrnehmen des tiefsten Orgeltones eintreten soll, und

2. daß ein Schall, der aus 25,000 bis 30,000 Schwingungen* in einer Sekunde resultirt, noch gehört wird; dagegen aber das, was durch eine Vermehrung der Oscilationen auf 40,000 bis 48,000 in einer Sekunde erzeugt wird, nur noch für wenige Menschen vernehmbar ist.

Hiernach können Körperschwingungen stattfinden, von denen die einen wegen ihrer Langsamkeit oder Weite, und die anderen dagegen wegen ihrer Schnelligkeit oder Kürze einen Schall oder etwas dem Ohr Vernehmbares nicht zu erzeugen vermögen.

Was nun die erstern betrifft, so kann man es zwar wohl ganz natürlich finden, daß dieselben eben so wenig einen Schall,

* Die geringen Differenzen, welche zwischen den Ansichten über die Anzahl der Schwingungen bestehen, bei welchen ein Schall anfängt und wieder aufhört, vernehmbar zu werden, können wir hier füglich unberücksichtigt lassen.

oder überhaupt etwas dem Ohr Vernehmbares hervorzubringen vermögen, als die aus zu langsamen oder zu schwachen Reibungen resultirende Wärme unserm Körper sich bemerkbar machen kann, und auch das Licht erst in Folge sehr gesteigerter Reibungen hervortritt, allein daß und warum bei der Steigerung der Schwingungszahl auf eine gewisse Höhe die betreffenden Schallquellen verstummen sollen, erscheint unzweifelhaft bei Weitem nicht so natürlich.

Wir finden es ganz natürlich und allen bekannten Naturgesetzen vollkommen entsprechend:

a. daß schmelzbare Körper erst bei einem gewissen relativ höheren Temperaturgrade anfangen flüssig zu werden, und eine weitere Temperatur-Erhöhung in denselben regelmäßig eine Vermehrung ihres Flüssigkeits-Zustandes zur Folge hat;

b. daß ein unter gewissen gleichbleibenden Umständen mit der Kraft k in Bewegung gesetzter Körper in dem Verhältniß eine größere Geschwindigkeit erlangt, in welchem die Kraft k vermehrt wird, und jede weitere Kraftvermehrung zwar wohl eine Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit, niemals aber ein Zurruhekommen des betreffenden Körpers zur Folge hat;

c. daß eine auf schiefer Ebene fortlaufende Kugel zwar eine um so größere Bewegungsgeschwindigkeit erlangt, je schiefer die Ebene ist, über welche sie während ihres Laufes hinrollt, diese Geschwindigkeitszunahme aber niemals ein Zurruhekommen der Kugel nach sich zieht;

d. daß das Getöse, welches durch einen auf dem Pflaster der Stadtstraße forteilenden Eisenblechwagen verursacht wird, in dem Verhältniß größer wird, in welchem dessen Bewegungsgeschwindigkeit zunimmt, eine Steigerung dieser Bewegung auf das Aeußerste aber niemals ein Aufhören des Getöses zur Folge hat u. s. w. Wenn wir dagegen bei der nähern Betrachtung der Schallerzeugung einer ganz gegensätzlichen Abweichung von diesem sonst überall zutreffenden Verhältniß zwischen Wirkung und Ursache begegnen, so müssen wir aus dieser erfahrungsmäßigen Wahrnehmung dringende Veranlassung nehmen, vor Allem näher zu untersuchen, ob denn

die Schallerzeugung wirklich eine so wesentliche und auffallende Ausnahme bilde, und im Bejahungsfalle auf welchen Gründen sie beruhe.

Es ist wohl klar, daß unter sonst ganz gleichen Umständen die Schwingungen eines vibrirenden Körpers in dem Verhältniß kürzer werden müssen, in welchem deren Zahl in einer gewissen Zeit eine größere wird. Es ist aber nicht denkbar, daß durch gesteigerte Einwirkung derselben bewegenden Kraft auf den vibrirenden Körper, nach und nach eine Verkürzung der Schwingungen auf Null herab bewirkt werden könne, und in Folge dessen eine Schallerregung unmöglich werde, weil ja in diesem Falle in den betreffenden Körpern trotz der verstärkten Fortwirkung der bewegenden Kraft vollständige Ruhe eingetreten sein müßte, gleichzeitige Ruhe und Bewegung in einem und demselben Körper oder Körpertheil aber ganz unmöglich ist.

Man könnte wohl auch, um eine Erklärung für das Aufhören des Tönens der Körper bei dem Eintreten einer gewissen höhern Schwingungszahl zu finden, mit der Annahme sich begnügen, daß die Schwingungen, welche in Folge ungewöhnlicher Vermehrung der Schwingungszahl eine äußerste Verkürzung erleiden, schließlich zu klein und zu schwach werden, um ihre Bewegungen auf die zwischen der Schallquelle und dem Beobachter liegende Luft wirksam genug übertragen zu können.

Da nun aber Körperschwingungen sich um so schneller oder mit um so größerer Geschwindigkeit vollziehen müssen, je mehr derselben in einer Sekunde stattfinden, und bekanntlich die Größe (oder Menge) der Bewegung von der bewegten Masse und von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher die Masse bewegt wird, somit die Wirkung der Schwingungen eines bestimmten Körpers auf einen andern Körper mit der Zunahme ihrer Zahl nicht abnehmen kann, sondern zunehmen muß, so kann auch der Grund, warum ein tönender Körper unter Umständen nach und nach aufhört zu tönen, unmöglich in einer bei ihm eingetretenen Vermehrung der Geschwindigkeit seiner Schwingungen oder der daraus resultirenden Verkürzung derselben liegen.

Ist aber dieses der Fall, so muß auch die Annahme, daß der Hergang bei der Schallerzeugung dem sonst überall zutreffenden Verhältnisse zwischen Wirkung und Ursache nicht untergeordnet seie, daher eine höchst auffallende Ausnahme mache, als eine unzulässige erachtet werden.

Es kann zwar allerdings die Steigerung der Schwingungszahl auf einen gewissen höhern Grad eine Zerstörung des Zusammenhanges der Theile des betreffenden Körpers zur Folge haben, wie z. B. beim Glas und andern spröden Körpern, allein dieser Fall tritt bei den Versuchen mit der bekannten Lochsirene nicht ein, und dennoch hört dieselbe auf zu tönen, sobald ihre Schwingungszahl auf 40,000 bis 48,000 in der Sekunde und mehr gesteigert wird.

Wenn nun hiernach dem Hergang bei der Schallerzeugung eine solche Ausnahme von den allgemeinen Naturgesetzen nicht zugestanden werden darf, indem auch bei ihm die Wirkung der Schwingungen eines Körpers auf einen andern Körper unter sonst gleichen Umständen mit zunehmender Geschwindigkeit eine stärkere sein muß, so folgt auch hieraus, daß die derben Schwingungsschläge der Luft und anderer Körper das nicht selbst sein können, was in unserem Gehörsinn die Empfindung hervorbringt, welche wir Schall nennen.

Bekanntlich können Ruhe und Bewegung nicht momentan in einander übergehen, sondern es ist zu dieser Veränderung stets eine gewisse, wenn auch kurze Zeit erforderlich, um den von der Menge der Materie (Masse) und der Bewegung abhängigen Widerstand zu überwinden.

Aus diesen Gründen können auch zwei auf einander geschlagene Körper sich nicht schon in dem Augenblicke ihres Zusammenstoßes im Zustande der Vibration befinden.

Wenn uns aber die vielfältigsten Versuche, z. B. das Anschlagen einer mit ihrem untern Rande vollkommen aufliegende Metallglocke, oder einer durchweg fest aufliegenden Metallplatte oder einer Stimmgabel, deren Zinken-Zwischenraum mit einem genau in denselben passenden festen Körper ausgefüllt ist, sehr deutlich nachweisen, daß stets schon in dem Moment des Anschlagens oder

Aufeinanderstoßes solcher und anderer Körper, also vor dem Eintreten derselben in den Zustand der Vibration ein Schall oder Ton zu unserem Gehörsinn gelangt, und hierin der thatsächliche Beweis liegt, daß eine Schallerregung ohne Körpervibration nicht nur möglich ist, sondern eine solche in allen Fällen der Schallerregung mittelst Vibration vorangehen muß, indem die aus den Körperschwingungen resultirenden Töne erst vernehmbar werden, wenn die betreffenden Körper in Folge eines Stoßes oder Schlages u. s. w. aus dem Zustande der Ruhe in den der Vibration übergetreten sind: so berechtiget dieses Verhältniß insbesondere zu dem Schlusse, daß die schwingenden Bewegungen der Luft und anderer Körper das nicht selbst sein können, was in unserem Gehörsinn diejenige Empfindung hervorbringt, welche wir Schall nennen.

Bei jeder freihängenden Glocke werden die aus ihrer Vibration resultirenden Töne immer erst nach dem Aufschlagen des Hammers wahrnehmbar.

Schlägt man ein etwa halbgefülltes Glas mit einem festen Körper schnell an, so scheint zwar der dadurch erzeugte Klang und das Zittern der in demselben befindlichen Flüssigkeit in dem ganz gleichen Momente hervorzutreten, allein eine einfache Vergleichung des ungeheuern Unterschiedes, welcher zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit des Schalles und der des Lichtes besteht, überzeugt uns, daß jenes Zusammentreffen nur den Schein für sich hat.

§ 3.

Ein- und Ausbiegen des Ohren-Trommelfells.

Durch die Schwingungen eines elastischen Körpers wird auch die umgebende Luft in Bewegung gesetzt, jedoch nach der derzeitigen Schalllehre nur in der Weise, daß die vordersten Atome der zwischen der Schallquelle und dem Beobachter liegenden Luftsäule einen kurzen Stoß auf das Trommelfell des wahrnehmenden Ohres ausüben, und dieses einwärts drücken. In Folge der weitern Einrichtung im Innern des Ohres wird dieses Trommelfell wieder nach außen gebogen und so müssen inner einer Sekunde

mindestens 16 Ein- und Ausbiegungen stattfinden, wenn das Ohr einen dem tiefsten Orgelton gleichkommenden Schall vernehmen soll*. Eine solche Zahl von Ein- und Ausbiegungen in einer Sekunde und eine weitere z. B. von zehn und noch mehr Tausenden liegt, nach unserer Ansicht noch innerhalb der Grenzen eines gesteigerten Vorstellungs-Vermögens. Dagegen aber dürfte der Zweifel, ob 40,000 solcher Ein- und Ausbiegungen in der Sekunde dem Trommelfell möglich sein können, nicht als so unberechtigt erscheinen, wenn man in Betracht zieht, daß ein, während einer ganzen Stunde einem stärkern Schallen ausgesetztes Ohr 144,000,000 Ein- und Ausbiegungen aushalten müßte, und deßwegen Leute, welche durch ihre Beschäftigung genöthigt sind, sich ganze Tage und Jahre hindurch einem unaufhörlichen stärkern Schallen auszusetzen, mit nur einem Trommelfell nicht wohl in die Länge ausreichen könnten. Bei der Aufstellung dieses Zweifels haben wir nicht übersehen, daß Vieles, ja sehr Vieles in der großen Schöpfung gar nicht da sein könnte, wenn dieselbe nur das gegeben hätte, was uns begreiflich erscheint, und daß insofern auch neben dem ausgesprochenen Zweifel eine so große Ausdauer der Ohrentrommelfelle wohl noch für möglich erachtet werden dürfte.

Auch kann Behufs der Abschwächung dieses Zweifels unter Anderem in Erwägung gezogen werden, daß auch das Auge den ganzen Tag hindurch dem Lichtreize ausgesetzt ist, und der Pulsschlag im thierischen Körper Tag und Nacht fortdauert, ohne daß diese Organe eine andere als die normale Abnutzung zu erleiden haben. Hiebei darf aber ebenfalls nicht übersehen werden, daß das Auge den direkten Einfluß des Lichtes ohne großen Nachtheil nur vorübergehend zu ertragen vermag, und daß die Dauer des im thierischen Körper den Blutumlauf vermittelnden Organs in dem Verhältniß eine kürzere sein muß, in welchem die Zahl seiner Pulsschläge die einer bestimmten Zeit entsprechenden normalen Schläge übersteigt, und deßwegen auch eine längere extreme Thätigkeit jenes Organs in der Weise, daß dasselbe z. B. während

* Seite 6 des Handbuches der Physik von Dr. W. F. A. Zimmermann, 1857.

einer Minute anstatt 80 solcher Schläge, deren 30 bis 40 Tausend vollbringen würde, dessen viel zu frühe Zerstörung zur unausbleiblichen Folge haben müßte.

Die in Rede stehenden Bedenken erhalten jedoch auch noch durch die hier weiter folgenden Erörterungen eine sehr beachtenswerthe Unterstützung.

Die Kanoniere öffnen beim Abfeuern der Geschütze in der Regel den Mund, um der Verletzung des Trommelfells vorzubeugen.

Diese Vorsichtsmaßregel hat bekanntlich ihren Grund in der Einrichtung des Gehörorganes, nach welcher die Trommel- oder Paukenhöhle mit der eustachischen Röhre und der Mundhöhle in der Weise in Verbindung steht, daß sich die Luft in ihr mit der äußeren Luft stets in's Gleichgewicht setzen kann. Es wird sonach durch das Oeffnen des Mundes das gleichzeitige Einströmen der bewegten Luft durch die eustachische Röhre auch durch den Mund ermöglicht und dadurch auf die durch das Ohr einströmende Luft ein Gegendruck auf der innern Seite des Trommelfells ausgeübt.

Hierdurch wird die Ein- und Ausbiegung des Trommelfells, wenn nicht aufgehoben, so doch in hohem Grade vermindert.

Gleichwohl wird der Schall mit gleicher Intensität wahrgenommen. Wenn Schwerhörige besser hören wollen, öffnen sie den Mund.

Da aber trotz dieser Herstellung des gleichmäßigen Luftdruckes auf beiden Seiten des Ohrentrommelfells eine Abnahme der Intensität des Schalles nicht wahrgenommen werden kann, so kann auch der angenommene Luftwellenschlag, welcher die Ein- und Ausbiegungen am Trommelfell bewirken soll, das nicht sein, was in unserm Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringt. Hiezu kommt aber noch, daß das Trommelfell des Ohres durchlöchert sein kann, ohne daß dieser Uebelstand einen beachtenswerthen Einfluß auf die Empfindlichkeit des Gehörsinns zur Folge hat.

Endlich dürfen wir hier auch nicht unbeachtet lassen, daß die aus langsamen Schwingungen hervorgehenden Luftwellen-Stöße auf das Ohrentrommelfell sowohl hinsichtlich ihrer Stärke als

bezüglich ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge ganz andere Eindrücke machen müssen, als die, welche aus sehr schnellen Schwingungen resultiren, indem z. B. die erstern ihre Aufgabe schon mit 30, die letztern erst mit 30 bis 40,000 Hin- und Hergängen erfüllen können, und daß sonach, wenn die Ein- und Ausbiegungen jener zarten Membrane die Empfindung des Schalles in der oben bezeichneten Weise zu vermitteln hätte, das erfahrungsmäßige gleichzeitige Wahrnehmen verschiedener Töne nicht möglich sein könnte.

§ 4.

Fortpflanzung des Schalles zu den Gehörorganen.

Die Fortpflanzung des Schalles bis zu unserem Gehörsinn erklärt man sich in der Regel in folgender Weise:

Die durch das Vibriren schallender Körper hervorgebrachten wellenförmigen Bewegungen bringen in der dieselben umgebende Luft Verdichtungen und Verdünnungen hervor, die sich von den Schallquellen aus nach allen Richtungen hin kreisförmig verbreiten, ähnlich denjenigen Wellen, welche durch einen in das Wasser geworfenen Stein in diesem erzeugt werden.

Eine Verdichtung mit der darauf erfolgenden Verdünnung bildet eine Schallwelle, und die geraden Linien, die man sich von dem schallenden Körper ausgehend vorstellt, werden Schallstrahlen genannt.

Diese Schwingungen werden natürlich durch die Kraft hervorgebracht, welche die vibrirenden Körper auf die sie umgebende Luft ausüben. Jeder Schallstrahl kann als ein von dem Schallerregungspunkt bis zum Trommelfell des Ohres reichender Luftcylinder von äußerst geringem Durchmesser betrachtet werden.

Denkt man sich diesen Luftcylinder auch nur möglichst gering und den durch ihn zu bewirkenden Stoß auch nur äußerst schwach, so bedarf es doch einer, und wenn auch noch so geringen Kraft um diesen Stoß hervorzubringen.

Nun verbreitet sich aber der Schall sphärisch und muß derselbe daher auf jeden Punkt des sphärischen Luftraumes, in dessen

Mittelpunkt die zitternde Bewegung der Luft hervorgebracht wird, wahrnehmbar sein. Der durch den Schlag des Hammers auf eine größere Thurmglocke erzeugte Schall kann unter günstigen Umständen in einer Entfernung von mindestens einer halben Stunde, daher in einem Luft-Raume von einer Stunde Durchmesser gehört werden.

Wenn wir nun in Erwägung ziehen, daß wenigstens ein Minimum von Kraft erforderlich ist, um eine Luftsäule von geringstem Durchmesser an dem einen Ende in dem Maaße anzustoßen, daß ihr entgegengesetztes Ende noch einen merklichen Stoß auszuüben vermag, so muß sich uns doch wohl die Frage aufdrängen: ob es einem einzigen Glockenschlag möglich sein könne, sämmtliche Theilchen einer Luftkugel von einer Stunde Durchmesser in der Weise in Bewegung zu 'setzen, daß an deren ganzen Oberfläche dieser Stoß gleichzeitig und gleichmäßig wahrnehmbar wird.

Diese Frage muß umsomehr als eine berechtigte erscheinen, wenn man die Erfahrung, daß ein Kanonenschuß unter günstigen Umständen in einer Entfernung von 20 und mehr deutschen Meilen wahrgenommen werden kann, auf dieselbe Weise in nähere Erwägung zieht und dabei findet, daß selbst aus der Annahme, nach welcher bei der Schallverbreitung den schwingenden Lufttheilchen keine progressive Bewegung zukommt, sondern dieselben nur in kleinen Zwischenräumen hin und hergehen, ihren Platz also nicht merklich verlassen, eine befriedigende Antwort nicht geschöpft werden kann.

Ueberdies läßt sich aus der derzeitigen Lehre vom Schall auch nicht befriedigend erklären, warum dieser sich leichter nach oben als von oben nach unten verbreitet.

Aehnliche ernste Bedenken erregt das Verhalten des Schalles im Wasser und in geschlossenen Röhren.

„Tropfbare Flüssigkeiten leiten den Schall auf ganz ähn-
„liche Art, wie die Luft, nur schneller. Schlägt man z. B.
„eine Glocke unter Wasser an, so hören die unter dem
„Wasser befindlichen Personen einen kurzen nicht klingenden
„Ton, auch bemerkten Colladon und Sturm, daß der Schall
„von hohen Tönen durch das Wasser besser fortgepflanzt

„wird, als durch die Luft. Den Ton einer zehn Zentner „schweren Glocke hörten sie z. B. im Wasser in einer Ent-„fernung von 35,000 Meter.“ (Seite 213 der Physik von Eisenlohr, 1863.)

Unzweifelhaft muß auch in diesem Falle die Größe der Wirkung mit der zu ihrer Hervorbringung angewendeten Kraft im Verhältniß stehen.

Kann es nun im Hinblicke auf dieses Verhältniß wohl denkbar erscheinen, daß ein solcher, schon durch den Widerstand des Wassers immerhin etwas geschwächter Glockenschlag das Wasser in einem so ungeheuren Umkreise in eine zitternde Bewegung versetzen könne?

Wenigstens spricht die Wahrnehmung, daß ein in ruhiges Wasser geworfener Stein, dessen Oberfläche nur auf verhältnißmäßig kurze Strecken in Bewegung zu setzen vermag, in hohem Grade dagegen.

Biot sagt von den 951 Meter (2927½ par. Fuß) langen Röhren zu den Wasserleitungen in Paris:

„Worte so leise gesprochen, als wenn Jemand dem An-„dern etwas in's Ohr sagt, wurden am andern Ende noch „gehört und verstanden, so daß es, wenn Einer den Andern „gar nicht mehr hören sollte, blos das einzige Mittel gab, „gar nicht mehr zu sprechen.“

„Die Wasserleitung des Claudius soll den Schall mehrere „italienische Meilen fortgepflanzt haben.“ (Seite 187 der Physik von Ph. Spiller, 1869.)

Obgleich es sich in diesen und ähnlichen Fällen einerseits zwar nur um Luftsäulen von geringem Durchmesser handelt, so ist andererseits deren Länge doch so bedeutend, daß auch hier die Frage: ob es mit Rücksicht auf den bekannten Zusammenhang von Ursache und Wirkung denkbar erscheinen könne, daß die Luft, also immerhin ein Körper von ansehnlichem Gewichte durch ein äußerst leise gesprochenes Wort, also beinahe durch einen bloßen Hauch auf eine so große Strecke in schwingende Bewegung versetzt werden könne, als eine vollkommen berechtigte anzuerkennen ist.

§ 5.

Erzeugung des Schalles durch Saiten- und Blas-Instrumente.

„In den Blasinstrumenten ist die Luft der tönende Kör„per selbst, doch erlangt sie diese Eigenschaft nur, wenn ihre „Schwingungen ungewöhnlich, und durch äußere Anregung „beständig unterhalten werden." (Seite 261 der Physik von Dr. Alb. Mousson von 1858.)

„Da bei diesen Instrumenten der Schall oder Ton nur „durch das Schwingen der in ihrer Höhlung enthaltenen „Luftsäule hervorgebracht wird, so ist klar, warum man ein „solches Instrument mit der Hand anfassen kann, ohne daß „dadurch der Schall gehemmt wird." (Seite 160 der Naturlehre von J. T. Mayer, 1812.)

„Durch die stehenden Wellen der Luftsäule kommen sowohl „die Massentheilchen des Körpers als auch die äußere Luft „in's Tönen. Darum hindert auch die Berührung des „Rohrs die tönende Schwingung der Massentheilchen nicht, „wohl aber hört sie zum Theil auf, wenn man das ganze „Blasinstrument mit einer weichen Masse überzieht, oder wenn „man dessen Wände zu dünn macht. Flöten, an welchen „das Holz zu dick ist, tönen dumpf und klanglos; allzu „dünne Orgelpfeifen geben einen schreienden Schall; Röhren „von Pergament und Papier geben einen tieferen Ton, wenn „sie befeuchtet werden. Daraus folgt, daß der Ton dersel„ben durch die tönenden Schwingungen der Massentheilchen „modificirt wird." (Seite 208 des Lehrbuches der Physik von Dr. W. Eisenlohr von 1863.)

Hiernach besteht also zwischen der regelmäßigen Erzeugung des Schalles durch Stoß oder Reibung an festen Körpern und der Schallerregung mittelst Blas-Instrumenten der sehr wesentliche Unterschied, daß bei jener die die Schallquelle umgebende Luft indirecte, nämlich durch das Vibriren gestoßener oder geriebener Körper zu einer den Schall weiter tragenden Thätigkeit veranlaßt

wird, bei dieser dagegen zunächst die in der Höhlung des Instruments befindliche Luftsäule, durch ihre eigenen, in ihr mittelst Zuströmung fremder Luftmassen erzeugten Stöße und Strömungen in tönende Bewegungen versetzt wird, und eine Vibration in dem jene Luftsäule einschließenden Rohr und in der dieses umlagernde Luft erst in Folge jener Luftschwingungen eintritt.

Bei einem nähern Eingehen auf diesen Unterschied in der Schallerregung haben wir zunächst in Betracht zu ziehen, daß die Luft in allen Fällen, in welchen sie mit einem gewissen höhern Grade von Geschwindigkeit fortschreitend gegen andere Körper hinströmt oder hingetrieben wird, einen der bewegten Masse und deren Bewegungsgeschwindigkeit entsprechenden Stoß ausübt, oder eine verhältnißmäßige Reibung oder beides zugleich an den betreffenden Körpern bewirkt. Solche Stöße und Reibungen haben, wie uns die Stürme und Orkane zeigen, stets die Wahrnehmung eines Geräusches oder Getöses oder auch eines Schalles oder Tones zur Folge, je nach der Stärke der Luftströmung, der Größe der gestoßenen Fläche, des Stoffes und der Form der betreffenden Körper, sowie nach der Lage derselben gegen die Richtung des Luftstromes u. s. w.

„Jede Reibung ist rhythmisch. Wenn wir mit einem ge-„harzten Bogen über eine Saite streichen, so regelt die Span-„nung der Saite vollkommen genau den Rhytmus der Rei-„bung.“

„Wenn wir mit dem nassen Finger um den Rand eines „Glases fahren, so gibt sich die Theilung der reibenden Be-„wegung in rhythmisch wiederholte Stöße durch einen musi-„kalischen Ton zu erkennen. Sawart's Experimente beweisen, „daß selbst die Reibung einer Flüssigkeit gegen die Seiten „der Oeffnung, durch welche sie geht, im Stande ist, musi-„kalische Töne hervorzubringen.“ (Seite 258 der acht Vorlesungen über den Schall von Tyndall.)

„Auch wo Gase in's Spiel kommen hat die Reibung den-„selben unterbrochenen Charakter. Eine Flintenkugel singt „auf ihrem Wege durch die Luft, und wenn der Wind einen

„Tannenwald schüttelt, so ist es seine Reibung gegen die „Stämme und Aeste der Bäume, welche das Rauschen wie „von einem Wasserfall hervorbringt.“ (Seite 259 derselben Schrift.)

Ein rasch bewegtes Licht erzeugt durch Reibung an der Luft Töne, ein Luftstrom durch Reibung an dem scharfen Rande eines Messers, an den Kanten eines schmalen Spaltes einen Ton oder ein Tongeschwirr u. s. w.

Eben so sind es nur die freien Luftströmungen, welche durch ihre Pressungen und Reibungen an den Telegraphen-Dräthen das Tönen derselben bewirken.

Nun zeigt uns zwar allerdings die Erfahrung, daß es dennoch, und im Widerspruche mit diesen Thatsachen nicht gelingt, die scharfe Kante des obern Labiums einer Orgelpfeife zum Tönen zu bringen, wenn auf dem Querschnitte ihrer Unterlippe keine Röhre ruht, oder diese seitlich nicht geschlossen ist, allein hieraus ergibt sich auch zugleich ganz unzweifelhaft, daß diese Röhre die Bestimmung hat, zunächst das seitliche Abfließen des aus der Windspalte der Pfeife emporsteigenden Luftstromes zu verhindern, um diesem damit ein verstärktes Reiben an der scharfen Kante der Oberlippe zu ermöglichen. Es ist jedoch einleuchtend, daß es jener Röhre dennoch nicht möglich wäre, diese Bestimmung in ausreichendem Maaße zu erfüllen, wenn der aus der Windspalte hervorgehende Luftstrom durch seinen Druck nach oben eine Hebung oder Verschiebung der in der Höhlung der Röhre befindlichen Luftsäule nach oben zu bewirken vermöchte.

Ein solches Heben oder Verschieben der in der Höhlung der Pfeife befindlichen Luftmasse nach oben, macht jedoch bei den gedeckten Pfeifen der Deckel und bei den oben offenen Pfeifen der Druck der auf dem Querschnitte des untern Labiums ruhenden Luftsäule durchaus unmöglich.

In beiden Fällen erleidet diese Luftsäule eine dem beiderseitigen Drucke entsprechende Verdichtung, welche ihre Befähigung, diesem Drucke das Gleichgewicht zu halten vermehrt.

Hieraus folgt nun schließlich, daß den Luftsäulen in den Röhren der Orgelpfeifen die einfache Aufgabe zukommt, durch ihre

Spannung, beziehungsweise durch ihr Gewicht, dem aus der Windspalte hervorgehenden Luftstrom das Gleichgewicht zu halten und denselben zu zwingen, sich an der scharfen Kante der Oberlippe zu reiben.

Daß aber bei den Orgelpfeifen nicht blos ihr Vibriren, sondern auch ihr Tönen allein nur aus der Reibung der Luft an einem festen Körper resultirt, ergibt sich einfach auch daraus, daß dieses Instrument, selbst bei verstärktem Einströmen von Luft aufhört zu tönen, wenn man blos die scharfe Kante seines obern Labiums mit irgend einem weichen Körper z. B. mit einem weichen Leinwand- oder Tuchstreifen u. s. w. belegt, und damit das Reiben der Luft an diesem Theil bis zur Unzulänglichkeit herab vermindert, ohne den Querschnitt der Luftsäule in der Pfeife zu ändern.

Es ist angenommen, daß der mittelst des Blasbalges durch den Fuß und die Windspalte der Orgelpfeife getriebene Luftstrom an dem obern Labium getheilt werde, und der eine Theil dieses Stromes die Luft in der Röhre verdichte, der andere Theil dagegen ganz außerhalb der Röhre bleibe und nur an der Röhrenluft in's Freie vorbeistreiche.

Da nun offenbar die oben näher bezeichnete, höchst kleine Veränderung an der Kante des obern Labiums der Orgelpfeife die Form und den Querschnitt ihrer Röhre gar nicht oder nur in kaum nennenswerthem Maaße ändert, und somit auch das Einströmen der Luft in die Pfeifenröhre und das Schwingen der in derselben befindlichen Luftsäule eine beachtungswerthe Störung nicht erleiden kann, jene Veränderung aber dennoch ein Verstummen des Instruments zur Folge hat, so muß auch die Annahme, daß in den Orgelpfeifen die Luft der tönende Körper selbst sei, als eine unhaltbare angesehen werden.

Die sogenannten stehenden Wellen werden bekanntlich erst durch das Begegnen von direkten und reflectirten Wellen gebildet. Hiezu ist jedoch in allen Fällen ein, und wenn auch nur sehr kurzer Zeitraum erforderlich.

Wenn nun aber eine Orgelpfeife von 32 Fuß Länge dennoch beinahe in dem Augenblick, in welchem die Lufteinströmung beginnt, zu tönen anfängt, und dieses doch nicht möglich sein könnte,

wenn die erste durch den Luftstrom erzeugte Welle vorher den Weg von 32 Fuß zurückzulegen hätte, so läßt auch dieses Verhältniß die Annahme, daß bei Blasinstrumenten die Luft der tönende Körper selbst sei, in hohem Grade bedenklich erscheinen.

§ 6.

Maaß-Verhältnisse der Tonwellen.

Nach der derzeitigen Schalllehre besteht jede Schallwelle aus einem verdünnten und einem verdichteten Theil.

In dieser Zusammensetzung und Zusammengehörigkeit muß jede Schallwelle als ein Ganzes, als eine abgeschlossene Einheit angesehen werden, weil es nicht zweifelhaft sein kann, daß eine Schallwelle, welcher die Verdichtung oder Verdünnung, also irgend einer der Theile fehlte, welche sie eigentlich erst zur Schallwelle machen, nicht im Stande sein könnte in unserm Gehörsinn eine Schallempfindung hervorzubringen.

Nach den Resultaten angestellter Versuche beträgt die Geschwindigkeit des Schalles in der Sekunde durchschnittlich 1024 Fuß.

Die Länge einer Schallwelle wird in allen Fällen gefunden, wenn man diese Geschwindigkeit des Schalles = 1024 Fuß durch die Anzahl der in einer Sekunde nach und nach entstehenden Schwingungen dividirt.

Es müssen sich in der Luft aber so viele Schallwellen bilden, als ein schallender Körper in einer Sekunde Schwingungen macht: Hiernach muß ein schallender Körper, welcher in einer Sekunde 48,000 Schwingungen macht, in derselben Zeit 48,000 aufeinander folgende Tonwellen erzeugen, deren Länge sich auf $\frac{1024}{48{,}000} =$ 0,021333 also nahezu auf $0{,}021333 \times 100 = 2{,}133$ Linien berechnet.

Bei einer so äußerst geringen Länge der Schallwellen von nur 2 Zoll mag allerdings jede derselben von dem Trommelfell des Ohres als ein vollständiges Ganzes empfunden werden; allein

ob dieses auch bei den längern Schallwellen der Fall sein kann, ist nach unserer Ansicht eine Frage, die einer nähern Erörterung wohl werth erachtet werden dürfte.

Da der tiefste Ton, welchen man durch eine 32 Fuß lange Orgelpfeife hervorbringt, durch 16 Schwingungen in einer Sekunde entsteht, so muß die Länge einer solchen Schallwelle $\frac{1024}{16} = 64$ Fuß betragen.

Die Verdichtungen und Verdünnungen der Schallwellen können wohl als gleich, wenigstens als annähernd gleich angenommen, daher jede dieser Abtheilungen = 32 Fuß gesetzt werden.

Es muß sonach der Anfang einer solchen Schallwelle bei dem Ohr des von dem Schallerregungspunkt 32 Fuß entfernten Beobachters schon in dem Augenblicke angekommen sein, in welchem das Ende derselben den Schallerregungspunkt verlassen hat.

Der Zeitunterschied, um welchen der vorderste Theil der verdichteten Abtheilung früher zum Ohr des Beobachters gelangt als deren Ende, beträgt $\frac{32}{1024} = 0{,}03125$ und die Zeit, welche die ganze Welle zum Durchlaufen des Weges von 64 Fuß Länge braucht, ist $= \frac{64}{1024} = 0{,}0625$.

Wenn nun zugegeben werden muß, daß der verdichtete Theil der Schallwelle auf das Trommelfell des Ohres, sowohl an sich schon als wegen der so eben ermittelten, relativ großen Zeitdifferenz einen ganz andern Eindruck machen müsse, als ihr verdünnter Theil, ein Unterschied in dieser Beziehung, aber nach allen Erfahrungen nicht wahrnehmbar ist, so ist auch dieses Verhältniß geeignet, die Behauptung zu unterstützen, daß die Luftvibrationen das nicht selbst sein können, was in unserm Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringt.

§ 7.

Gleichzeitige Verbreitung eines mehrfachen Schalles.

„Jeder schallende Punkt verbreitet auf diese Weise Luft-„wellen (ondæ sonoræ) um sich her, welche sich auf mannig-„faltige Weise, wie die des Wassers, durchkreuzen können, „ohne in ihrem Gange merklich gestört zu werden. Daraus „läßt sich einsehen, warum die Fortpflanzung eines Schalles „im geringsten nicht durch den Schall eines andern Körpers „aufgehalten wird, und bei einer vollständigen Musik eine „große Menge von Tönen einander durchkreuzen können, „ohne ein unordentliches Geräusch zu verursachen.“ (Seite 143 der Naturlehre von J. F. Mayer von 1812.)

Gegen diese Erklärung ließe sich allerdings nicht viel einwenden, wenn sie auf den Beweis gestützt wäre, daß die Luftwellen sich wirklich ohne gegenseitige Störung durchkreuzen können. Da dieser Beweis aber fehlt, so hat das Ganze blos den Werth einer Annahme.

In ähnlicher Weise könnte man hinsichtlich des Laufes der Himmelskörper sagen: sämmtliche Himmelskörper beschreiben während ihres Laufes Bahnen, welche sich auf mannigfaltige Weise durchkreuzen können, ohne sich in ihrem Gange zu stören.

Daraus läßt sich einsehen, warum die Bewegung eines Weltkörpers im geringsten nicht durch die Bewegung eines andern Himmelskörpers aufgehalten wird, und die Bahnen der vielen, das ganze Himmelsgewölbe bedeckenden Weltkörper einander durchkreuzen können, ohne eine unordentliche Bewegung zu verursachen.

Daß es jedoch bei der Verbreitung der tönenden Luftwellen von ihren Ursprungspunkten aus nicht immer so friedlich hergehen solle, wie nach dem oben Angeführten angenommen ist, zeigen uns die nächstfolgenden Zeilen:

„So parador dies auch scheinen mag, im Folgenden wer-„den wir den Kampf sich befehdender Töne sehen und finden, „daß gleich starke Töne sich aufheben und gänzliche Stille „verursachen können.“

„Die Erscheinungen der Resonnanz enthüllten uns gewisse „Wahlverwandtschaften, die das Tonreich beherrschen. Die „Saiten einer Violine, die an der Wand hängt, fangen „gleich zu klingen an, wenn man eine andere Violine im „selben Zimmer versucht. In jedem elastischen Körper „wohnt gleichsam eine Familie von Tönen, die auf ver„wandte Töne antworten können. Jetzt werden wir dagegen „die Feindschaft der Töne studiren, ihren Antagonismus, „ihre Fehden."

„Wenn zwei Grundtöne sich gegenüber stehen, so thun es „auch ihre Obertöne; das ganze Gefolge nimmt an dem „Handel theil oder rauft für eigene Rechnung wie die Va„sallen der Capuletti und Montagu." (Seite 285 der Lehre vom Schall von R. Radau, 1869.)

„Wir sind gewohnt, mehrere Arten des Schalls, welche „von verschiedenartigen Schwingungen der Körper abhängen, „zu gleicher Zeit wahrzunehmen und finden es durchaus „nicht auffallend. Dieser Umstand ist auch für die Luft „daraus leicht erklärlich, weil sie ein ungemein feiner, beweg„licher und elastischer Körper ist, der mehrere Arten von „Schwingungen, welche in Betreff der mehr oder minder „raschen Aufeinanderfolge und ihrer Größe äußerst ungleich „sein können, im Stande ist, aufzunehmen, und bis zu un„serm Gehörorgane fortzupflanzen, ohne daß eine der andern „in ihrer Verbreitung hinderlich ist. Aber auch andere Kör„per als die Luft sind für die gleichzeitige Verbreitung eines „mehrfachen Schalles geeignet, was theils auf ihre Elastici„tät, theils auf ihre Porosität schließen läßt." (Seite 181 der Physik von Ph. Spiller von 1869.)

Die Art, in welcher jeder Körper zu vibriren vermag, ist nicht allein von dem ihm zukommenden Maße der allgemeinen und besondern Eigenschaften der Körper, sondern auch von den ihn bildenden Stoffen, so wie von seiner Form, Ausdehnung und Berührung mit andern Körpern u. s. w. abhängig, und müssen deßwegen auch die schwingenden Bewegungen der Körper in dem Verhältniß verschieden sein, in welchem jene sie bedingenden

Faktoren, unter sonst gleichen Umständen, verschieden sind. Dafür, daß die Sache in der Wirklichkeit sich so verhält, liefert uns die stündliche Erfahrung den vollständigsten Beweis, indem z. B. Körper von verschiedener Materie, aber sonst ganz gleicher Beschaffenheit, selbst dann verschieden tönen, wenn sie auf die vollkommen gleiche Weise in Vibration gesetzt werden, und eine Verschiedenheit im Tönen auch im umgekehrten Falle eintritt, in welchem nämlich Körper von gleicher Materie aber verschiedener Form, Ausdehnung u. s. w. auf die ganz gleiche Art in den Zustand der Vibration gebracht werden.

Es muß daher auch, wenn in einem beliebigen Punkt der freien Luft auf irgend eine Art eine kugelförmige Wellenbewegung erzeugt wird, aus derselben ein ihrer Größe und den sonst obwaltenden Verhältnissen entsprechender Schall oder Ton resultiren und dieser stets der vollkommen gleiche sein, so oft bei seiner Erzeugung die gleichen Bedingungen erfüllt sind.

In diesem Falle, in welchem nämlich die Schallerregung von bloß einem Punkte der freien Luft ausgeht, und dabei vorausgesetzt wird, daß die Luftwellen das selbst sind, was in unserm Gehörsinn die Empfindung des Schalles erzeugt, kann zwar die Annahme als zulässig erachtet werden, daß die Luft im Stande ist, „mehrere Arten von Schwingungen, welche in Betreff der mehr „oder minder raschen Aufeinanderfolge und ihrer Größe äußerst „ungleich sein können, aufzunehmen und bis zu unserem Gehörsinn fortzupflanzen, ohne daß eine der andern in ihrer Verbreitung hinderlich ist,“ allein daß die Luft nicht mehr im Stande sein kann, diese Aufgabe zu lösen, wenn sie auf zwei verschiedenen Punkten gleichzeitig auf die ganz gleiche Weise in schwingende Bewegung versetzt wird, ergibt sich daraus, daß in diesem Falle die so erzeugten Kugelwellen (bei nicht zu großer Entfernung ihrer Mittelpunkte) sich früher oder später berühren und in Folge dessen, und wegen der leichten Verschiebbarkeit ihrer Massentheile, in ihren Formen und Dichtigkeitsverhältnissen sehr wesentliche Veränderungen eintreten müssen.

Diese Veränderungen müssen aber offenbar in dem Verhältniß größer werden, in welchem die Zahl der in einem gewissen

Raum gleichzeitig erzeugten Kugelwellen vermehrt wird, wie z. B. in einem stark besetzten Orchester, weil in diesem ein sehr vielfältiges Begegnen und Drängen der Luftwellen nicht allein schon wegen ihrer großen Zahl sondern auch wegen der großen Verschiedenheit ihrer ursprünglichen Formen unabweislich eintreten muß.

Wären die Luftwellen das selbst, was in unserem Ohre die Empfindung des Schalles hervorbringt, so müßten die aus ihren Bewegungen resultirenden Töne auf ihrem Wege zu unserem Gehörorgan in demselben Verhältniß eine Aenderung erleiden, in welchem die Luftwellen in Folge ihres obenbezeichneten Zusammenstoßes und gegenseitigen Drängens einer Veränderung unterliegen müssen.

Da nun aber erfahrungsmäßig eine bemerkbare Aenderung der Töne während der Bewegung von ihrem Ursprungspunkte bis zu unserem Gehörorgan nicht, und selbst dann nicht eintritt, wenn die Zahl der in einem gewissen Raume gleichzeitig erzeugten Schallwellen in hohem Grade vermehrt wird, so berechtigt auch dieser sehr beachtungswerthe Unterschied in dem gegenseitigen Verhalten der Luftwellen und der Schallwellen zu dem Schlusse, daß die bisherige Schalltheorie ungenügend sein müsse.

Wollte man auch zu Gunsten der Annahme, daß die schwingenden Bewegungen der Luft und anderer Körper der Schall selbst seien, dem Umstande, daß die Luft ein ungemein feiner, beweglicher und elastischer Körper ist, und dadurch die ungestörte Durchkreuzung der Schallwellen ermöglicht werden könnte, einiges Gewicht beilegen, so müßte man sich hievon doch wieder durch die Erwägung abgehalten erachten, daß nun einmal die Luft ein Körper ist, und in dem von einem ihren Theilchen eingenommenen Raum nicht gleichzeitig auch ein anderes sein kann, und diese Unmöglichkeit bei dem Durchkreuzen der Schallwellen nicht auf einzelne Lufttheilchen beschränkt bleiben könnte, sondern sich in allen Fällen auf größere Luftmassen ausdehnen müßte.

Wenn wir aber überdieß in jeder Physik der Mittheilung begegnen, daß mehrere Arten des Schalles, welche von verschieden-

artigen Schwingungen der Körper abhängen, auch dann noch zu gleicher Zeit, und in ihrer ursprünglichen Verschiedenheit wahrzunehmen sind, wenn sie nicht durch die Luft, sondern durch Dräthe oder hölzerne Stäbe u. dergl. zu unserem Gehörsinn gelangen können, so kann doch die Feinheit, Beweglichkeit und Elasticität der Luft unmöglich auch hier angeführt werden, um die Annahme zu rechtfertigen, daß die Luftwellen ohne gegenseitige Störung sich durchkreuzen können.

Bei dem bekannten Keller-Concerte von Wheastone steigen die im Keller mit verschiedenen Instrumenten erzeugten Töne in einer entsprechenden Anzahl von ganz gleichen Tannenholz-Stäben durch mehrere Stockwerke empor, und kommen dabei an den obern Enden jener Stäbe so unverändert an, daß sie selbst dem Laien ein sicheres und deutliches Erkennen ihrer Ursprungsquellen gestatten. Wenn die, diesem Concerte dienenden Stäbe verschiedenem Material entnommen und denselben überdieß auch noch nach Maßgabe der verschiedenen Instrumente, ungleiche Längen u. s. w. gegeben wären, so würde die Annahme, daß die Verschiedenheit des Tönens der betreffenden Instrumente durch eine solche Einrichtung vermittelt werde, einigermaßen als zulässig erachtet werden können. Da nun aber die dabei zur Verwendung kommenden Tannenholz-Stäbe in jeder Beziehung gleich sind, und die jedem Instrumente eigenthümlichen Töne dennoch beinahe ganz unverändert an den obern Enden derselben ankommen, so ergibt sich hieraus, daß jene Tannenholzstäbe auf die in ihnen aufsteigenden Töne weder einen erzeugenden, noch einen ändernden Einfluß auszuüben vermögen, und dieselben sich sonach bei dem Aufsteigen der aus den Vibrationen der verschiedenen Instrumente als etwas Fertiges hervorgehenden Töne, bloß passiv verhalten. Ist dieses aber der Fall, so darf hieraus weiter gefolgert werden, daß zwar wohl die Erzeugung des Schalles auf der Vibration der Luft und anderer Körper, nicht aber auch dessen Bewegung bis zu unserem Gehörsinn beruhen kann, und deßwegen auch hiernach die harten Schläge der Luftwellen das nicht selbst sein können, was in unserem Gehörorgan die Empfindung des Schalles hervorbringt.

Die, bei diesem Concert oder auf ähnlichem Wege zu den Gehörorganen des beobachtenden Publikums gelangenden Töne haben zwar einen etwas veränderten, sanfteren, volleren Klang, allein der einfache Grund hievon liegt in dem Umstande, daß jene Stäbe mit ihren untern Enden gegen vibrirende Stellen der Instrumente gestemmt werden, und in Folge dessen zu einem schwachen Resoniren veranlaßt sind.

„Durch den luftleeren Raum pflanzt sich der Schall nicht „fort, weil der leere Raum keine Körperschwin„gungen vollbringen kann. Man kann dies nachwei„sen durch einen zum Schlagen gebrachten Wecker, den man „unter die Glocke einer Luftpumpe setzt; je mehr man aus„pumpt, desto schwächer wird der Schall; doch gelingt der „Versuch nur dann gut, wenn der Wecker entweder an Fäden „hängt, oder auf Watte gebettet ist. Liegt der Wecker direkt „auf dem Teller, so wird der Schall selbst bei der stärksten „Entleerung nicht sehr schwach; denn die festen und flüssigen „Körper pflanzen den Schall ebenfalls und sogar besser „fort, als die Luftarten, weil sie eine größere Kraft der „Elasticität besitzen, als diese.“ (Seite 203 der Physik von Reis vom Jahr 1870.)

„Wenn aber die Luft für die Fortpflanzung des Schalles „so nothwendig ist, was geschieht, wenn ein tönender Körper „wie z. B. eine Glocke, in einen vollkommen luftleeren Raum „gestellt wird? Aus diesem Raum kann der Schall niemals „herauskommen.“

„Der Klöppel kann an die Glocke anschlagen, sie wird „stumm sein. Ein bekannter Versuch, der dieses beweist, „wurde von einem Naturforscher, Namens Hawksbees vor „der Royal Society im Jahre 1705 gemacht. Er befestigte „eine Glocke unter dem Recipienten einer Luftpumpe, so daß „er die Glocke läuten konnte, nachdem die Luft ausgepumpt „war. Ehe die Luft entfernt war, konnte der Ton der Glocke „in dem Recipienten gehört werden; als die Luft ausgepumpt „war, wurde der Schall so schwach, daß er kaum hörbar „war.“ (Seite 7 der acht Vorlesungen von Tyndall.)

Aus diesen und andern hieher bezüglichen Versuchen und Beobachtungen ergibt sich zwar auf das Unzweifelhafteste, daß ein unter der Glasglocke der Luftpumpe erzeugter Schall in dem Verhältniß schwächer wird, in welchen man die Luftmasse in derselben vermindert, und daß bei guter Einrichtung und Behandlung der Luftpumpe ein fortgesetztes Auspumpen der Luft, ein mehr oder weniger vollständiges Verschwinden des Schalles zur Folge hat.

Auf diese Erscheinungen kann zwar allerdings der Ausspruch: „ohne Luft kein Schall" gestützt werden, allein ein Anerkennen dieser Folgerung erscheint, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, nur insofern statthaft, als sich dieselbe bloß auf die Erzeugung des Schalles, nicht aber auch auf die sogenannte Leitung desselben beziehen solle.

Es kann nämlich aus dem luftleeren Raum ein Schall entweder deßwegen nicht zu unserem Gehörorgan gelangen, weil im Vacuum ein Schall gar nicht erzeugt werden kann, oder weil die Erzeugung eines Schalles im luftleeren Raum zwar möglich ist, derselbe aber (nach der bestehenden Annahme) wegen dem Fehlen der ihn sonst leitenden Luft das Gehörorgan des Beobachters nicht zu erreichen vermag.

Unzweifelhaft kann nur die eine oder die andere dieser Möglichkeiten mit der Wirklichkeit übereinstimmen, und haben wir daher zu untersuchen, welche derselben die andere unbedingt ausschließt.

Daß bei allen gewöhnlichen und regelmäßigen Schallerzeugungen auf mechanischem Wege das Vorhandensein der Luft als Grundbedingung erscheint, ergibt sich nicht allein aus dem Verhalten des Schalles im Recipienten der Luftpumpe, sondern auch, und zwar im großartigsten Maaßstabe aus den Resultaten der vielfältigsten Beobachtungen in dem Bereich der atmosphärischen Luft, nach welchen ein unter sonst gleichen Umständen erregter Schall um so schwächer erscheint, in je höhern, also in je dünnern Luftschichten er erzeugt wird, und deßwegen an der Grenze unserer Atmosphäre schließlich ebenso auf Null herabsinkt wie im Vacuum in Folge des allmählichen Auspumpens der Luft aus demselben.

Nach dem, im Eingange des gegenwärtigen Paragraphen Angeführten und anderwärts über das Verhalten des Schalles

in luftleerem Raume Gesagten, ist einerseits als feststehend angenommen, daß im Vacuum ein Schall zwar erzeugt werden könne, derselbe aber nicht zu unserm Gehörsinn zu gelangen vermöge, weil der leere Raum keine Körperschwingungen vollbringen könne.

Da nun aber anderseits als nachgewiesen erachtet wird, daß die Schwingungen in der Luft oder in festen Körpern das selbst seien, was in unserm Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringt, die Erzeugung von Luftschwingungen im luftleeren Raume aber doch offenbar ganz unmöglich ist, so ergibt sich hieraus, daß ein Schall aus dem Vacuum nicht deßwegen nicht zu unserm Gehör gelangen kann, weil in demselben das ihn leitende Medium fehlt, sondern weil im luftleeren Raum die Grundbedingung der Schallerregung mittelst Lufterschütterungen, nämlich die Anwesenheit von Luft nicht erfüllt ist, und daß sonach ohne Luft in gewöhnlicher Weise ein Schall nicht erzeugt werden kann.

Kann aber hiernach wegen dem Mangel an Luft im Vacuum ein Schall gar nicht erzeugt werden, so kann auch die auf die Resultate der gewöhnlichen Experimente mit der Luftpumpe gestützte Folgerung, nach welcher der Schall sich im luftleeren Raume nicht soll verbreiten können, nicht mehr als eine haltbare anerkannt werden, und das um so weniger als schon Hawksbee durch ein ausgedehnteres (im Nächstfolgenden näher bezeichnetes) Experiment mit der Luftpumpe nachgewiesen hat, daß sich der Schall ebenso wie die Wärme und das Licht im luftleeren Raume verbreiten kann.

„Er stellte (nämlich Hawksbee) das Uhrwerk auf ein „Kissen unter eine Glocke, in welcher die Luft gelassen „wurde, und überzeugte sich, daß man jetzt die Töne hörte, „welche das gehende Uhrwerk gab. Nun ward dieser „Apparat unter den Recipienten einer Luftpumpe gebracht, „und aus diesem die Luft gezogen. Es fand sich das Uhr„werk also im lufterfüllten Raum und war äußerlich von „einem luftleeren Raum umgeben. Hier entstand der „Klang wirklich, er drang aber nicht durch den luftleeren

„Raum(?) wie es denn auch nicht anders sein kann, da alle „Bedingungen zur Fortpflanzung des Schalles fehlten.“ (Seite 129 der Physik von Dr. W. F. A. Zimmermann.)

Nach dem, was Zimmermann dem Resultate dieses Versuches anfügt, wäre demselben allerdings keinerlei Bedeutung beizulegen, allein die Art, wie er zu beweisen sucht, daß der Klang der Glocke nicht durch den luftleeren Raum drang, zeigt dem unbefangenen Leser deutlich, wie wenig man mit der sogenannten Leitung des Schalls sowohl in diesem als in jedem andern Falle durchzukommen vermag und daß gerade deßwegen das Ergebniß des in Rede stehenden Experiments nicht so ohne Weiteres auf Grund einer einfachen Behauptung als ein werthloses bei Seite gelegt werden darf.

§ 8.

Uebergehen des Schalles in Wärme und umgekehrt, der Wärme in Schall.

„Bei zu großer Schwingungszahl geht der Schall in „Wärme über.“ (Seite 202 der Physik von P. Reis von 1870.)

„Sowie das Gehörorgan für die beiden Grenzen der „Töne bei verschiedenen Individuen verschieden organisirt „ist, so ist es auch das Auge für die Grenzen des Lichtes „und des Sichtbarseins und das Gefühl für die Wärme. „Bei dem Thermophon hat man sogar den Fall, daß Wärme„schwingungen in Schallschwingungen übergehen oder viel„mehr durch Coincidence sie erzeugen.“ (Seite 488 der Physik von P. Spiller 1869.)

Wenn jedoch einerseits angenommen ist, daß die schwingenden Bewegungen der Luft und anderer Körper in unserem Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringen, andererseits aber als feststehend erachtet wird, daß die Wärme ihrem Wesen nach aus Schwingungen des Aethers bestehe, so kann ein solches Uebergehen

des nicht körperlichen, also nicht wägbaren Aethers in wägbaren Körperstoff, und umgekehrt eine so plötzliche Umwandlung von Aether-Schwingungen in Luft- also in Körperschwingungen, offenbar nur unter der Voraussetzung als möglich gedacht werden, daß die Luft nur so ohne Weiteres in Aether und umgekehrt der Aether in Luft übergehen und damit eine Umwandlung der Luftschwingungen in Aetherschwingungen und umgekehrt, ein Uebergehen der Aetherschwingungen in Luftschwingungen stattfinden könne.

Da nun aber die Zulässigkeit einer solchen Voraussetzung in keiner Weise begründet werden kann, so muß der Grund jener Erscheinungen unzweifelhaft in andern Verhältnissen liegen.

Die nähern und eigentlichen Gründe dieser Nothwendigkeit werden wir in der zweiten Abtheilung nachweisen.

Zweite Abtheilung.

Von dem Wesen des Schalles und Erklärung der wichtigeren Erscheinungen im Gebiete der Akustik aus demselben.

§ 9.

Wesen des Schalls.

„Jedes Körperatom ist mit einer im Verhältniß seines „Gewichtes verdichteten Aethersphäre umgeben. Der Aether „aber ist die das Weltall einnehmende Substanz, welche, „weil ihr das Individuelle abgeht, eigenschaftslos, uner„kennbar, schwerlos und unwägbar ist. Auch der Aether „besteht aus Atomen, die man sich kugelförmig und absolut „elastisch, aber so klein wird denken müssen, daß ihr Mittel„punkt als ihre Masse und alleiniger Sitz ihrer Kraft anzu„sehen ist. Der Aether ist ein Stoff aber kein Körper, „Körper- und Aetheratome ziehen einander an, aber die „Aetheratome haben keine Gravitation zu einander, sondern „stoßen einander ab. Die Kometen und die Erscheinungen „des Lichtes geben absolut sicheres Zeugniß von dem Vor„handensein des Weltäthers. Derselbe spielt bei allen irdi„schen und überirdischen Erscheinungen eine viel größere „Rolle, als man bis jetzt anzunehmen scheint: in ihm liegt

„die einzige Kraft für alle Erscheinungen.“ (Seite 35 der Physik von P. Spiller, 1869.)*

Bekanntlich kann jeder elastische Körper in schwingende Bewegung versetzt werden, und zwar entweder direkt durch Stöße, Schläge oder Reibungen, oder indirekt durch Berührung mit andern, schon im Zustande der Vibration befindlichen festen, tropfbar- oder elastisch-flüssigen Körpern.

Jede, auf dem einen oder dem andern dieser Wege in einem Körper bewirkte Störung der Gleichgewichts-Lage seiner Theile muß stets eine kleinere oder größere Verschiebung seiner Atome aus ihrer normalen Lage in der Weise zur Folge haben, daß dieselben momentan in verschiedenem Grade näher aneinander zu liegen kommen. Damit werden in den betreffenden Körpern oder Körpertheilen mehr oder weniger schnell aufeinander folgende Verdichtungen verschiedenen Grades erzeugt.

Es bedarf wohl keines besonderen Nachweises dafür, daß das, was vor dem Eintreten eines Körpers in den Zustand der Vibration seine Atome einschließt, den von ihm bis dahin eingenommenen Raum in dem Verhältniß verlassen muß, in welchem eine gegenseitige Annäherung der Atome des betreffenden Körpers stattfindet.

Da nun nach dem oben Angeführten kein Stoff, den man Aether nennt, das ganze Weltall, somit auch die Räume zwischen den Körper-Atomen erfüllt, so muß auch jede, in den verschiedenen Körpern, durch Pressung, Stoß, Schlag oder Reibung erzeugte Verdichtung eine, der dabei aufgewendeten Kraft entsprechende Ausscheidung von Aether zur unbedingten Folge haben.

Zu demselben Resultate gelangt man auch durch die einfache Erwägung, daß nach der alltäglichen Wahrnehmung aus jeder, auf diesem oder jenem Wege bewirkte Körper-Verdichtung, im Verhältniß des dabei gemachten Kraftaufwandes und nach Maaßgabe der Beschaffenheit der betreffenden Körper dasjenige resultirt, was

* Da wir veranlaßt sein werden, auch in den folgenden Blättern auf schon angezogene Schriften wiederholt Bezug zu nehmen, so werden wir, so oft dieses der Fall sein wird, zur Abkürzung in der Regel nur die betreffenden Seiten und Namen anführen.

wir Wärme nennen, und daß diese sich uns als eine Bewegungserscheinung des Aethers zu erkennen gibt.

Man kann zwar dahin gestellt sein lassen, ob die da und dort gegen das Bestehen des oben näher bezeichneten Weltäthers ausgesprochenen Bedenken durch die Resultate der nunmehr über die Bewegung der zu unserem Planeten-System gehörigen Kometen angestellten Beobachtungen ausreichend beseitigt sind, allein soviel darf doch immerhin als feststehend betrachtet werden, daß ein allgemein verbreitetes Fluidum besteht, welches, wenn Körper gestoßen, geschlagen oder aneinander gerieben werden und damit die Gleichgewichtslage ihrer Atome bis zu einem gewissen höhern Grade gestört wird, aus denselben ausscheidet, und unter den verschiedensten Umständen in uns das Gefühl der Wärme erzeugt.

Da nun der Weltäther unzweifelhaft in allen Fällen als etwas Gegebenes erscheint, und daher nicht etwas, erst durch einen mechanischen Akt zu Schaffendes ist, daher ein solcher Akt nur die Aufgabe haben kann, den in den flüssigen und festen Körpern befindlichen Aether mittelst Verdichtungen in denselben zum Ausscheiden zu zwingen, und in schwingende Bewegungen zu versetzen, so folgt hieraus, daß die Vibrationen irdischer Körper bei jeder Aether-Ausscheidung und somit auch bei jeder Wärme-Erzeugung nur als Mittel zum Zwecke dienen können.

Nun zeigt uns aber die Erfahrung in der vielfältigsten Weise daß, wenn verschiedene Körper in einer gewissen, ihrer Verschiedenheit entsprechenden Art und Stärke gerieben, geschlagen, gestoßen oder gepreßt werden, aus den dadurch in ihnen bewirkten Verdichtungen nicht nur Wärme, sondern auch dasjenige in irgend einem geringern oder stärkern Maaße resultirt, was in unserm Gehörsinn die Empfindung des Schalles, Tones u. s. w. erzeugt, und daß deßwegen auch nicht ein einziges Musik-Instrument nachgewiesen werden kann, mit welchem ohne direkte oder indirekte Reibungen, Stöße, Schläge oder Pressungen irgend ein Ton oder Schall erzeugt werden kann.

In den nicht seltenen Fällen, in welchen aus den auf diesem oder jenem Wege erzeugten Körper-Verdichtungen überwiegend mehr Schall als Wärme, und umgekehrt, mehr Wärme als Schall

hervorgeht, liegt, wie wir später zeigen werden, der Grund hievon theils in der Art des Freiwerdens des Aethers und theils in der Fähigkeit der betreffenden Körper, denselben nach seinem Ausscheiden in höherem Grade sofort wieder aufzunehmen und auf kürzere oder längere Zeit festzuhalten. Da nun aus Körper-Verdichtungen, die unter durchaus ganz gleichen Umständen erzeugt werden, daher in jeder Beziehung ganz gleich sind, nicht Verschiedenes, sondern nur Gleiches hervorgehen kann, und diejenigen dieser Verdichtungen, durch welche Wärme erzeugt wird, ein Ausscheiden von Aether zur Folge haben, so kann auch das, was durch die Behufs der Schallerregung bewirkten Körper-Verdichtungen zum Ausscheiden gezwungen wird, ebenfalls nur Aether, oder überhaupt nur dasjenige Fluidum oder derjenige Stoff sein, welches oder welcher in uns das Gefühl der Wärme erzeugt.

Es ist zwar immerhin auch denkbar, daß jene äußere bewegende Ursache (Reibung, Stoß u. s. w.) zwei verschiedene innere Kräfte, oder zwei verschiedene Stoffarten treffen könne, von denen die eine die Wärme, die andere den Schall hervorzurufen im Stande wäre, und in sofern kann die oben gegebene Schlußfolgerung nicht als logisch unanfechtbar betrachtet werden, allein durch die Gleichheit der Ursache, die Aehnlichkeit und Gleichzeitigkeit der Wirkungen und die Unmöglichkeit eine andere wirkende Kraft nachzuweisen, wird die höchste Wahrscheinlichkeit begründet, daß Schall und Wärme Bewegungs-Erscheinungen eines und desselben Fluidums oder Stoffes sind, und daher, wenn die Wärme aus Aetherschwingungen resultirt, auch das Wesen des Schalles in Aether besteht. Und diese Wahrscheinlichkeit wird zur wissenschaftlichen Wahrheit und Nothwendigkeit, wenn man in Erwägung zieht, daß aus ihr und nur aus ihr alle Erscheinungen im Gebiete der Akustik genügend und ohne jeden Zwang sich erklären, und in ihrem einheitlichen Zusammenhang nachweisen lassen.

„Schall, Wärme und Licht. So verschieden die
„drei genannten Naturerscheinungen auch auf unsern Sinn
„wirken, so zeigen sie doch mehrfach außerordentliche Ueber-

„einstimmungen, welche auf etwas gemeinschaftliches im „Grunde ihrer Entstehung schließen lassen.“

„Mit gleicher Gesetzmäßigkeit verbreiten sich die Schall-„Wärme- und Licht-Strahlen von einem Punkte nach allen „Richtungen, nehmen an Stärke ab im Verhältnisse der „Quadrate der Entfernungen, werden in gleicher Weise zu-„rück geworfen und gebeugt. Daß Wärme und Licht daher „auch auf Wellenbewegungen beruhen, wäre daher ein nahe-„liegender Schluß.“

„Aber während wir beim Schalle leicht den Beweis führen „können, daß wirklich die festen Körper schwingen und ihre „Schwingungen der Luft übertragen, bieten Wärme und Licht „die Eigenthümlichkeit, daß sie durch ganz luftleere Räume „sich verbreiten. Die Sonne sendet bekanntlich ihre wohl-„thätigen Strahlen zur Erde durch den ungeheuern, leeren „Weltraum — was sollte da der Träger der Wellenbewe-„gung sein?“

„Die Physiker hegen die Ueberzeugung, daß überall im „ganzen Weltraume eine höchst feine Materie verbreitet ist, „welche Aether genannt wurde. Diese Aethermaterie ist „an und für sich durch unsern Sinn gar nicht wahrnehmbar, „da sie nicht einmal dem Gesetze der Schwere unterworfen, „daher gewichtlos ist und nirgends Widerstand leistet. Allein „in Schwingungen versetzt, ist dieser Aether der Träger und „Verbreiter von Licht und Wärme.“ (Seite 92 des Buches der Natur von Dr. F. Schödler. vom Jahr 1868.)

In soweit die im Vorstehenden gegen die Nachweisbarkeit des Bestehens einer durchaus erkennbaren, gemeinsamen Grundursache der Entstehung des Schalls und der Wärme ausgesprochenen Bedenken nicht schon im Vorausgegangenen beseitigt wurden, sollen dieselben in dem Weiterfolgenden ihre Erledigung erhalten.

In einem am 1. März 1845 im Vereine für wissentschaftliche Vorträge „über Wirkungen aus der Ferne“ gehaltenen Vortrage deutet H. W. Dowe die gemeinsame Grundursache der Hervorbringung der in Rede stehenden Naturerscheinungen auf Seite 17 in der folgenden interessanten Weise an:

„In der Mitte eines großen finstern Zimmers mag sich ein Stab be-
„finden, der in Schwingung versetzt ist und es soll zugleich eine Vor-
„richtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fort-
„während zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer in dem Augenbicke,
„wo der Stab viermal schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas
„von dem Vorhandensein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine
„Schläge fühlt, indem sie ihn berührt. Aber die Schwingungen werden
„schneller, sie erreichen die Zahl 32 in der Sekunde und ein tiefer Baß-
„ton schlägt an mein Ohr. Der Ton erhöht sich fortwährend, er durch-
„läuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton, aber nun sinkt
„alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das,
„was ich hörte, fühle ich plötzlich von der Stelle her, an welcher der
„Ton verhallte, eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so be-
„haglich, wie sie ein Kaminfeuer aussendet. Aber noch bleibt alles
„dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller, ein schwaches
„rothes Licht dämmert auf, es wird immer lebhafter, der Stab glüht;
„roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Vio-
„lett alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur nach einan-
„der zu verschiedenen Sinnen, zuerst ein leises nur aus unmittelbarer
„Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir lauter aus immer weiterer
„Ferne zu, endlich erreicht mich auf den Schwingen des Lichts ihre
„Stimme aus unmeßbaren Weiten."

§ 10.

Die atmosphärische Luft als nachhaltige Aetherquelle.

Zunächst beweist uns ein sehr einfaches Experiment mit dem Compressions-Feuerzeug in auffallender Weise, daß die Luft in hohem Grade mit Aether erfüllt ist, und daß, weil dieses Experiment auf der gleichen Stelle beliebig oft mit dem gleichen Erfolge wiederholt werden kann, dieser Aethergehalt der Luft ein durchaus nachhaltiger ist.

Wenn man in Erwägung zieht, daß in einem durch Hämmern zum Glühen gebrachten Eisenstäbchen ein äußerst hoher Grad der Verdichtung schon eingetreten sein muß, bevor dasselbe in den Zustand des Glühens eintritt, und daß deßwegen nach dem Eintreten dieses Verdichtungsgrades eine fernere Wärme-Entwicklung durch

Hämmerung des Eisenstäbchens ihren Grund nicht mehr in der Ausscheidung von Aether aus demselben haben kann, so erscheint eine weitere Temperatur-Erhöhung durch fortgesetztes Hämmern nur dadurch möglich, daß irgend ein anderer Körper den hiezu nöthigen Aether abgibt.

Da nun diese Steigerung der Temperatur des Eisenstäbchens auch in dem Falle bewirkt werden kann, in welchem der ganze Hämmerungs-Apparat möglichst außer Berührung mit andern Körpern gebracht wird, und derselbe daher größtentheils nur von Luft umgeben ist, so kann es auch nur die Luft sein, welche den hiezu erforderlichen Aether abgibt.

Wenn ein trockner Holzstab von nur geringem Durchmesser zwischen zwei andern gleich oder ähnlich beschaffenen Holzstäben einige Zeit schnell hin und her gezogen wird, so können diese Stäbe dadurch bis zum Flammen erhitzt werden.

Bei der geringen Masse dieser Stäbe und dem ihnen schon deßwegen zukommenden geringen Aethergehalt, kann denselben eine solche Steigerung der Temperatur offenbar nur dadurch möglich sein, daß der dazu erforderliche Aether der die Wärme-Quelle während jener Reibungs-Operation unabläßlich dicht umlagernde Luft durch Pressung und Reibung nachhaltig entzogen wird.

Aus diesen Experimenten und vielen andern täglichen Erscheinungen ergibt sich, daß der zur Wärme-Erzeugung unentbehrliche Aether in allen Fällen, in welchen die Wärmequellen von Luft umgeben sind, beinahe ausschließlich von diesen geliefert wird, indem sie sich zu diesem Zwecke vermöge ihrer fortdauernden Gleichgewichts-Bestrebungen unablässig auf's Neue dicht an jene Quellen hindrängt, und an diesen durch Pressung, Reibung u. s. w. gezwungen wird, ihren Aethergehalt auszuscheiden.

§ 11.

Von der Bewegung und Verbreitung des Aethers.

Bekanntlich ist es den in dem Schießpulver ruhenden Gasen nicht möglich, während der Dauer dieses Zustandes eine direkte wahrnehmbare Erscheinung irgend welcher Art hervorzubringen.

Ebenso ist uns aber auch die furchtbare Gewalt bekannt, welche die Gase auszuüben vermögen, wenn sie auf diesem oder jenem Wege aus dem gebundenen Zustande befreit werden. In dieser Beziehung weisen uns auch verschiedene Experimente mit der atmosphärischen Luft die großartigsten Erscheinungen sehr augenfällig nach, indem dieselbe, wenn sie in gehörig verschlossenen Räumen in ausreichendem Maaße zusammengepreßt wird, bei ihrem Freiwerden höchst auffallende Wirkungen hervorbringt. So z. B. kann mit einer guten Windbüchse eine Kugel mit ebenso großer Geschwindigkeit fortgeschossen werden, wie mit einem Feuergewehr.

Diese Kraftäußerung der atmosphärischen Luft und der Gase überhaupt, hat bekanntlich ihren Grund in der denselben innewohnenden großen Expansivkraft, welche, wie die Erfahrung nachweist, in allen Fällen ohne jedes Hinzuthun irgend einer andern Kraft in Thätigkeit tritt, sobald die ihr Freiwerden bedingenden Umstände eingetreten sind.

Die Lehre von der Diffusion der Gase zeigt uns u. A.:

a. daß sich alle elastischen Flüssigkeiten, dem Gesetze der Schwere scheinbar entgegen, vermöge ihrer Expansivkraft, sowohl in andern Gasen, als auch in Flüssigkeiten und festen Körpern vertheilen;

b. daß die Massentheilchen des einen Gases gegen die des andern sich ganz passiv verhalten, und jedes Gas für sich eine Atmosphäre zu bilden sucht;

c. daß sich jedes Gas in Beziehung auf die andern wie ein leerer Raum verhält, oder seine Spannkraft der des andern Gases keinen Widerstand entgegen setzt.

Da nun der Aether zu den elastischen Flüssigkeiten gehört, derselbe daher auch die eben bezeichneten Eigenschaften der Gase besitzen muß, so muß auch er nach seinem Freiwerden aus dem Verbande mit den Körper-Atomen sich sowohl in anderen Gasen als in tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körpern, und zwar nach allen Richtungen hin verbreiten, somit auch zu unserem Gehörorgan gelangen können.

Ueber die Art, in welcher sich die Wärme im menschlichen Körper bemerkbar macht, sagt J. Tyndall, Seite 82 seiner Wärmelehre vom Jahr 1867:

„Nach dieser Hypothese (nämlich nach der dort vorausge-„schickten) sind also alle Einwirkungen, die wir von erwärm-„ter Luft oder Dampf erfahren, dem Stoße der Gasatome „zuzuschreiben.“

„Sie erregen die Nerven auf die ihnen eigenthümliche „Weise; die Nerven leiten die Bewegung zum Gehirn und „das Gehirn erklärt sie für Wärme.“

Ebenso kann von den sich in unserem Gehörsinn als Schall ankündigenden Aether-Atomen gesagt werden: dort erregen sie die Nerven auf die ihnen eigenthümliche Weise, die Nerven leiten die Bewegung zum Gehirn, und das Gehirn erklärt sie für Schall. Da sich die Aether-Atome während ihrer Bewegung zum Gehörsinn gleich den Gasen verhalten, also sich dabei in keiner Weise gegenseitig stören, so ist hieraus auch erklärlich, daß mehrere Arten des Schalles, welche von verschiedenen Schwingungen der Körper abhängen, zu gleicher Zeit, und ohne eine wesentliche Veränderung in ihren ursprünglichen Eigenthümlichkeiten zu erleiden, zu unserem Gehörsinn gelangen können, und warum, wie schon im Eingange dieser Abhandlung gezeigt wurde, es der Luft trotz ihrer Feinheit, Beweglichkeit und Elasticität nicht möglich sein kann, die gleichzeitige Verbreitung eines mehrfachen Schalles zu vermitteln.

§ 12.

Hindernisse der Aetherbewegung und Uebergang eines Theils des bei der Schallerregung freiwerdenden Aethers in Wärme.

Es kann nicht zweifelhaft sein, daß jeder in Bewegung gesetzte Körper und jede wirksam gewordene Kraft stets denjenigen Weg einschlagen muß, auf welchem ihm oder ihr am wenigsten Hindernisse entgegen stehen.

Es muß sonach auch der Schall-Aether bei seiner Verbreitung diejenigen Körper auswählen, die seiner Bewegung den geringsten Widerstand entgegen stellen.

Da nun durch die vielfältigsten Beobachtungen nachgewiesen ist, daß der Schall sich durch sämmtliche feste Körper viel schneller, also auch viel leichter verbreitet als durch die Luft, so ergibt sich aus dieser Thatsache, daß in allen Fällen, in welchen durch irgend einen mechanischen Akt Schall-Aether* ausgeschieden wird, derselbe genöthigt sein muß, dem seiner fortschreitenden Bewegung am meisten widerstehenden Hinderniß, nämlich der Luft, möglichst auszuweichen, und in Folge dessen sofort nach seinem Freiwerden in die mit Luft umgebene Schallquelle (Eisen, Holz u. s. w.) ein- beziehungsweise zurück-zuströmen, und dort so lange zu verweilen, als er nicht durch Vorgänge in den betreffenden Körpern gezwungen wird, dieselben wieder zu verlassen.

Es ist einleuchtend, daß der in der eben bezeichneten Weise in die Schallquelle und in andere, dieser nahe liegenden Körper übergehende Theil des freigewordenen Aethers nicht, oder nur in nächster Nähe und mit schwacher Wirkung zu unserem Gehörsinn gelangen kann, und daß sonach bei jedem Schallerregungs-Akte ein Theil des ausgeschiedenen Aethers für den Zweck seiner Ausscheidung verloren gehen muß.

---

* Zur Abkürzung werden wir in der Folge den als Schall sich bemerkbar machenden Aether mit „Schall-Aether" oder „Schall-Fluidum" bezeichnen, ohne jedoch damit andeuten oder sagen zu wollen, daß der sich in unserem Gehörsinn als Schall ankündigende Aether eine besondere Art von Aether sei.

Jenes Einströmen von ausgeschiedenem Schall-Aether in die Schallquellen und in die mit diesem zusammenhängenden Körper muß sich, unter sonst gleichen Umständen mit jedem Stoß u. s. w. so lange wiederholen, als das äußere Hinderniß, nämlich die Umgebung der Schallquelle mit Luft fortbesteht.

Würde aus jedem Aetherausscheidungs-Akte nur diejenige Aethermenge frei werden, welche durch die Reibung oder Pressung u. s. w. fester Körper zum Ausscheiden gezwungen werden kann, so würde nach jedem einzelnen deßfallsigen Akte beinahe wieder eben so viel Aether in die betreffenden Schallquellen-Körper zurückströmen können als ausgeschieden wurde und sonach auch ein Abströmen von Aether in die Luft und durch diese zu unserem Gehörorgan gar nicht oder nur in äußerst geringem Maaße stattfinden können.

Nun wurde aber schon oben nachgewiesen, daß durch jeden mechanischen Akt nicht nur aus festen Körpern, sondern auch durch die Pressung oder Reibung der die Schallquellen umlagernde Luft Aether ausgeschieden wird, und zwar aus dieser in einer Menge, welche die aus der Reibung oder Pressung fester Körper resultirende Aethermenge verhältnißmäßig sehr unbedeutend erscheinen läßt, und daß deßwegen auch nach dem Einströmen eines Theils des ausgeschiedenen Aethers in die Schallquellen stets noch ein großer Aether-Ueberschuß verbleiben muß, welcher zu unserem Gehörorgan gelangen, und in diesem die Empfindung des Schalls hervorbringen kann.

Da nun das Maaß, in welchem die Luft der Bewegung des Schall-Aethers größere Hindernisse entgegenstellt als feste Körper, stets dasselbe bleibt, so muß nothwendig auch die in die Schallquelle eindringende Aethermenge in dem Verhältniß eine größere sein, in welchem eine Vermehrung der Schallerregungsakte bei einer und derselben Schallquelle stattfindet.

Dieser Theil des Aethers, welchem es hiernach nicht möglich sein kann, nach seinem Freiwerden die die Schallquelle umlagernde Luft zu durchdringen, und daher gezwungen ist, bei fortgesetzter Schallerregung sich in derselben immer mehr und mehr anzuhäufen, gibt bekanntlich sein Dasein in der Schallquelle dadurch zu

erkennen, daß die Temperatur der betreffenden Körper im Verhältniß seiner Anhäufung zunimmt, und derselbe sonach in Wärme übergegangen ist. Um sich hievon zu überzeugen, braucht man bloß den Vorgang näher in's Auge zu fassen, welcher bei dem geschickten Hämmern eines Eisenstabes stattfindet und uns zeigt, daß durch fortgesetztes Hämmern das betreffende Eisenstück nach und nach wärmer und endlich bis zum Glühen erhitzt wird.

Der Grund hievon kann wohl nur darin liegen, daß derjenige Theil des Aethers, welcher nach seinem Freiwerden anstatt durch die Luft abzufließen, in die Schallquellen-Körper einströmt, und sich dort in der bezeichneten Weise anhäuft.

Daß derjenige Theil des Aethers, welcher nach seiner, mittelst Stoß, Schlag oder Reibung bewirkten Ausscheidung nicht zu unserem Gehörorgan zu gelangen vermag, wirklich in Wärme-Aether übergeht, findet wohl auch in dem Umstande seine Bestätigung, daß die Luft der Verbreitung des letztern im gleichen Maaße entgegen tritt, wie dem Schall-Aether und deßwegen der in Wärme übergegangene Aether ebenfalls erst dann in dieselbe einzudringen sucht, wenn ihm ein anderer Ausweg gar nicht mehr gegeben ist, wovon uns die vielfältigsten Beobachtungen und Versuche überzeugen. Wird z. B. ein möglichst isolirtes Stück Eisen in freier Luft gefeilt, oder gehämmert, oder auf irgend eine andere Weise gerieben, so erlangt dasselbe in einer gewissen Zeit eine sehr merkbar höhere Temperatur, als wenn es in einen großen Schraubstock von Eisen eingesetzt, und nachher eben so lange der ganz gleichen Behandlung unterstellt wird.

Trockenes Holz läßt sich durch Reibung entzünden. Feilen, Bohrer, Sägen und dergl. werden beim Gebrauche warm, ebenso die Wagenachsen und Zapfen an bewegten Rädern, Hemmschuhe an Wagen, Seile und Schnüre an Maschinen bei schneller Bewegung und Reibung, ohne daß die die betreffenden Körper umlagernde Luft gleichzeitig eine beachtenswerthe höhere Temperatur erlangt.

Diese ungleiche, beziehungsweise ungleichzeitige Erwärmung der geriebenen Körper und der sie umschließenden Luftmasse muß nothwendig deßwegen eintreten, weil sich der durch die Reibung

freiwerdende Aether, oder die durch seine Bewegung erzeugte Wärme durch die betreffenden Körper, wie z. B. durch das Eisen des Schraubstockes viel leichter verbreitet, als durch die Luft, und deßwegen gezwungen ist, sich in dem geriebenen Körper anzuhäufen.*

Aus der Thatsache, daß die Luft der Bewegung des Schall-Aethers einen weit größeren Widerstand entgegen stellt als feste Körper und dieser bei der Luft das 18 fache von dem des Tannenholzes beträgt, läßt sich erklären, warum ein einmal erzeugter Schall, wenn ihm für seine Bewegung die Wahl zwischen festen Körpern und der Luft gegeben ist, sich von seiner Ursprungsstelle aus nicht nach allen Seiten hin verbreitet, sondern dabei, der Luft möglichst ausweichend, die festen Körper wählt, und in Folge dessen in so großen, scheinbar unglaublichen Entfernungen, und zwar meistens nur wenig verändert gehört werden kann, während man ihn in manchen Fällen schon wegen seiner ursprünglichen Schwäche, kaum in der unmittelbarsten Umgebung seiner Ursprungsstelle wahrzunehmen vermag.

Hieher sind die Erscheinungen zu zählen, welche uns u. a. auch die bekannten Experimente mit sehr langen Eisendrähten, mit Fäden und silbernen Löffeln, mit langen Holzbalken und Uhren, mit langen Tannenholz-Stäben und Musikinstrumenten, wie z. B. bei dem Keller-Concerte von Wheestone, u. s. w. darbieten. Die großen Vortheile, welche das Stethoscop dem Aether gewährt, beruht ganz auf denselben Verhältnissen.

Weiche, nachgiebige Körper, wie z. B. Watte, Werg, Wolle, die verschiedenen Zeuge, Mehl, Kleie, Sägespäne sind, wie die Erfahrung zeigt, der Verbreitung des Schalls in hohem Grade hinderlich.

Die verschiedenen, den äußern Theil der Erdkugel bildenden Substanzen nähern sich in dieser Beziehung beinahe durchweg und zwar auf einige Fuß Tiefe jenen Körpern in hohem Grade.

---

*) Von einer Betrachtung der aus den Wechselwirkungen der Anziehungskraft der Körper-Atome und der Expansivkraft der Aether-Atome weiter resultirenden interessanten Erscheinungen können wir, als nicht hieher gehörig, Abstand nehmen.

Wenn aber dennoch die Entfernungen, auf welche sich der Schall in der oben bezeichneten Weise in Eisendrähten, Fäden, Holzstäben u. dergl. verbreitet, gegen jene Abstände, in welchen der Donner schwerer Geschütze u. dergl. wahrgenommen werden kann, mehr oder weniger unbedeutend erscheinen, so kann man sich zu der Alternative hingedrängt erachten, daß entweder die lockere Schale des Erdkörpers der Verbreitung des durch das Abschießen schwerer Geschütze erzeugten Schalls weit weniger Hindernisse entgegen stelle, als andere Körper, oder daß hiebei, nämlich bei dem Abfeuern von Kanonen stets eine solche Menge von Schall-Aether in Freiheit gesetzt werde, daß es diesem möglich sei, so ungeheure Räume in hohem Grade zu erfüllen.

Das erstere kann aber nicht angenommen werden, weil es mit der Erfahrung in direktem Widerspruche steht, und das letztere erscheint deßwegen undenkbar, weil, wenn die Luft durch das Abfeuern von schweren Geschützen mit einer ausreichenden Menge von Schallfluidum erfüllt würde, dieses direkt, durch die Luft zu unserem Gehörorgan gelangen könnte, und man dann nicht nöthig hätte, das Ohr mit der Erde in unmittelbare Berührung zu bringen, um den Kanonendonner aus so großen Entfernungen zu vernehmen.

Kann aber hiernach die Wahrnehmung des Kanonendonners aus Entfernungen von 20 und noch mehr Meilen weder aus dem einen noch aus dem andern jener Verhältnisse erklärt werden, so kann dieselbe nur darauf beruhen, daß, wie auch die Erfahrung vollkommen bestätigt, die durch das Abfeuern schwerer Geschütze bewirkten, großartigsten Erderschütterungen in den betreffenden Erdschichten eine vibrirende Bewegung erzeugen, welche die in den Zwischenräumen dieser Schichten befindliche Luft durch Pressung und Reibung zwingt, einen Theil ihres Schall-Aethers auszuscheiden.

Das, was hier von dem Kanonendonner gesagt ist, gilt durchaus auch von sämmtlichen größern und kleinern Erderschütterungen, und ist deßwegen auch das, was wir als Folge von sehr fernen Erderschütterungen in und außer unsern Wohnungen wahrnehmen, nicht der von den betreffenden Erregungspunkten aus nach allen

Seiten hin gleichmäßig abfließende Schall, sondern bloß das bekannte Rauschen oder Klirren u. dergl., welches dadurch entsteht, daß die verschiedensten mehr oder weniger lose neben einander liegenden, stehenden oder hängenden Gegenstände einmal oder öfter mehr oder weniger heftig aneinander gestoßen und damit die zwischen denselben befindlichen Luftmassen gezwungen werden, einen Theil ihres Schallfluidums auszuscheiden.

Davon, daß die Wahrnehmung des sehr entfernten Kanonendonners allein auf dem ebenbezeichneten Hergange beruht, kann man sich nicht nur aus der täglichen Erfahrung, sondern auch durch die einfachsten Experimente überzeugen, indem man z. B. einen Tannenholz-Tisch mit leichteren Gegenständen von Metall, aufeinander gestellter Porzellan-Tassen, Gläsern, Tellern, u. s. w. mäßig belegt, und denselben nachher durch das Aufsetzen einer größern schwingenden Stimmgabel in den Zustand der Vibration versetzt, da aus den durch diese bewirkten Reibungen und Zusammenstöße jener Körper stets ein Rauschen oder Klirren oder beides zugleich u. s. w. resultirt.

Aus dem großen Unterschiede, welcher hiernach zwischen der Verbreitung des Schalles besteht, je nachdem derselbe aus dem Abfeuern eines schweren Geschützes oder aus dem centralen Zusammenstoße der Luft in höhern Luftregionen hervorgeht, läßt sich auch erklären, warum der Gewitter-Donner nur auf beiläufig 5 Meilen, der Kanonen-Donner dagegen auf Entfernungen von mehr als 20 Meilen reicht. Wenn man in Betracht zieht, daß die durch das Abfeuern eines schweren Geschützes bewirkte Erderschütterung eine um so größere und eine um so weiter reichende sein muß, je mehr die demselben zur Unterlage dienenden Körper fähig sind, in schwingende Bewegung zu kommen, und daß in dieser Beziehung zwischen aufgeschwemmtem Land und den verschiedenen Steinmassen, und je nachdem diese Körper gefroren oder nicht gefroren sind, ein sehr großer Unterschied besteht, so muß man es ganz erklärlich finden, daß der Kanonendonner unter sonst ganz gleichen Umständen, in manchen Fällen sich auf weit größere Entfernungen ausdehnen kann, als in andern, und daß derselbe sogar aus-

nahmsweise in Entfernungen von nur ein paar Meilen nicht bemerkt werden kann.

Der Einfluß, den die verschiedenen Luftzustände auf die Verbreitung des Schalles auszuüben vermögen, kann gegenüber der ebenbezeichneten deßfallsigen Hauptursache in allen Fällen nur als eine mehr oder weniger untergeordneter angesehen werden.

§ 13.

Mehrfache und verschiedene Schall-Aether-Ausscheidung durch einen und denselben mechanischen Akt.

„Kein Tonerreger gibt für sich einen einfachen Ton; „Klänge ohne Obertöne müssen also künstlich erzeugt werden." (Seite 236 der Physik von Dr. P. Reis 1870.)

a. So wenig es möglich ist, eine, und selbst mit einer geringsten Wasserschichte bedeckte Körper-Fläche durch einen Hammerschlag direkt zu treffen, eben so unmöglich ist es, bei freiem Luftzutritt zwei feste Körper irgend welcher Art mit irgend welcher Schnelligkeit aufeinander zu schlagen, oder aneinander zu reiben, ohne die zwischen denselben liegende und fortwährend auf's Neue zuströmende Luft zu pressen und damit zu verdichten.

b. Durch den Schlag des Hammers auf den Amboß wird sowohl die Masse des erstern als die des letztern, je nach der Stärke des Schlages, theilweise oder durchaus mehr oder weniger zusammen gepreßt, und damit in jedem dieser Körper eine Verdichtung erzeugt.

c. In Folge dieses Hammerschlages erleiden aber die betreffenden Körper nicht nur eine Verdichtung, sondern dieselben werden damit auch in eine schwingende Bewegung versetzt, welche in der sie umschließenden Luftmasse eine dem Maaße ihrer Heftigkeit entsprechende Pressung und Reibung und damit in derselben ebenfalls eine Verdichtung erzeugen muß.

Da hiernach in allen Fällen aus einem und demselben mechanischen Akte drei verschiedene Verdichtungen bewirkt werden

(unter welchen sich stets zwei Luftverdichtungen befinden) und jede derselben eine Ausscheidung von Aether, also auch eine Tonerzeugung zur Folge haben muß, so ergibt sich hieraus, daß durch jeden mechanischen, nicht gar zu schwachen Akt eine Schallerzeugung in dreifacher Weise bewirkt wird. Hievon kann nur der unter a bezeichnete Akt als eine direkte Schallerregung angesehen werden.

Hinsichtlich der Menge des Aethers welche durch jeden dieser drei verschiedenen Akte zum Ausscheiden gezwungen wird, sind dieselben regelmäßig, und u. a. sehr wesentlich verschieden.

In der Regel ist die unter b bezeichnete Aether-Ausscheidung die entschieden schwächste und nicht immer von einer solchen Bedeutung, daß sie sich neben den zwei übrigen dem Gehörsinn unterscheidbar bemerklich machen kann.

In Betreff ihrer Zeitfolge reihen sich diese verschiedenen Schallerregungen in der oben unter a, b und c gegebenen Ordnung aneinander.

Davon, daß die unter a und c bezeichneten Aether-Ausscheidungen sich in leicht erkennbarer Verschiedenheit bei dem Gehörsinn bemerklich zu machen vermögen, kann man sich durch eine große Zahl der einfachsten Versuche und Beobachtungen überzeugen.

Werden z. B. zwei größere Stimmgabeln mäßig aufeinander geschlagen, so hört man einen Schall, der sich von den, ihm unmittelbar folgenden musikalischen Tönen deutlich unterscheidet.

Werden aber die ganz gleichen Stimmgabeln hart und schnell aneinander gerieben, oder mit möglichst kurzen Unterbrechungen aufeinander geschlagen, so ist zwar ein lautes Schallen, oder vielmehr ein Getöse so lange vernehmbar, als die Reibung oder das Aufeinanderschlagen der Gabeln fortdauert, wogegen aber während dieser Zeit von jenen, den betreffenden Gabeln eigenen musikalischen Tönen nichts zu hören ist, obgleich die schwingenden Bewegungen ihrer Zinken fortdauernd statt finden. Ist die Schallquelle nicht auf allen Seiten von freier Luft umgeben, sondern, wie es meistens der Fall ist, auch mit andern festen Körpern in unmittelbarer Berührung, so werden durch die Schwingungen des Schallerregers zunächst diese Körper, und durch deren Vibrationen

auch die in ihrer Umgebung befindlichen Luftmassen in die unter e bezeichnete schwingende Bewegung versetzt, welche ebenfalls die Ausscheidung einer größern Menge von Aether und diese eine Verstärkung des Schalles zur nothwendigen Folge haben muß.

Die so durch die sogenannte Resonanz erzeugten Töne haben aber nicht bloß eine Verstärkung der aus der Vibration der eigentlichen Schallquelle resultirenden Töne zur Folge, sondern sie bringen in diesen auch Veränderungen, bezeichnungsweise ein Uebertönen derselben in dem Grade hervor, daß die ursprünglichen Töne in manchen Fällen kaum noch oder auch gar nicht mehr wahrzunehmen und zu erkennen sind.

„Unter Resonanz versteht man die Anwendung des Mit„schwingens zur Verstärkung schwacher Töne." (Dr. P. Reis, Seite 230.)

Da nun auch das sogenannte Mittönen eine Tonverstärkung hervorbringt, so könnte dasselbe nach dem Angeführten ebenfalls und ohne Weiteres zu den Resonanz-Erscheinungen gezählt werden, allein die Erwägung, daß das Mittönen insofern aus einem andern Hergange resultirt, als es durch die Vibration der zwischen einem schwingenden festen Körper und einem festen ruhenden Körper befindliche Luft vermittelt wird, also nicht auf einer unmittelbaren Berührung fester Körper beruht, und überdieß die Erfüllung gewisser Bedingungen fordert, von welchen die gewöhnliche Resonanz nicht abhängig ist, so kann man es für zweckdienlich erachten, das Mittönen einer besondern Betrachtung zu unterstellen, und werden wir deßwegen auch demselben im Folgenden einen besondern Paragraphen widmen.

Der einem bestimmten Schallerreger eigenthümliche Ton wird durch die Resonanz in demselben Verhältniß weniger verändert, oder gedeckt, in welchem der mit ihr in Berührung stehende Körper weicher ist. So z. B. wird der einer bestimmten Stimmgabel eigene Ton gar nicht, oder nur in äußerst geringem Maaße verändert, wenn dieselbe während ihrem Schwingen auf ein locker gepolstertes Daunenkissen, oder auf ein Stück Pelz u. dergl. aufgesetzt wird, weil derartige Körper viel zu weich sind, um durch

ihre Schwingungen die in ihren Zwischenräumen und Umgebungen liegende Luft ausreichend verdichten und zum Ausscheiden ihres Aethergehaltes zwingen zu können.

Eine weitere Veränderung, beziehungsweise Vervielfältigung des jedem Schallerreger eigenthümlichen Tones wird aber auch noch dadurch bewirkt, daß, weil die Luft der Bewegung des Schall-Aethers in allen Fällen weit größere Hindernisse entgegensetzt als andere Körper, ein großer Theil desselben nach seinem Ausscheiden in die Schallerreger eindringen muß, und erst von diesen aus durch die resonirenden Körper, also nur mittelbar und sonach auch nur mehr oder weniger modificirt zu unserem Gehörsinn gelangen kann.

Wenn wir nun in Betracht ziehen, daß nach dem Vorgetragenen aus jedem mittelst festen Körpern vollzogenen Schallerregungs-Akte drei verschiedene Töne resultiren müßen, von welchen der erste auf direktem und der zweite und dritte auf indirektem Wege erzeugt wird, und daß in allen jenen, sehr häufigen Fällen, in welchen die Resonanz mitwirkt und ein Theil der erzeugten Töne nur mittelbar zu unserm Gehörsinn gelangt, gleichzeitig fünf verschiedene Töne vernehmbar werden können, so muß es erklärlich erscheinen, warum kein Tonerreger für sich einen einfachen Ton gibt und auf was denn eigentlich die Nebentöne, Obertöne, zusammengesetzten Töne u. s. w. beruhen. Hiezu kommt aber noch, daß in dem Verhältniß, in welchem ein Schallerreger weniger homogen ist, unter sonst gleichen Umständen, auch seine Schwingungen ungleich, und in Folge dessen auch seine Aether-Ausscheidungen verschiedenartig sein müßen, und daß endlich unter Umständen auch noch durch die sogenannten Theilschwingungen eines tönenden Körpers die Zahl der verschiedenen Töne vermehrt werden kann.

§ 14.

Schallstärke, Abnahme der Schallstärke, Klangfarbe und Tonhöhe.

A. Schall-Stärke.

Da die Erzeugung des Schalles auf direktem und indirektem Wege darauf beruht, daß die Schallquellen und die sie umgebenden Luftmassen durch irgend welchen mechanischen Akt in schwingende Bewegung versetzt, und damit gezwungen werden, einen größern oder kleinern Theil ihres Aethers auszuscheiden, so muß, unter sonst gleichen Umständen, jeder aus einem solchen Akte hervorgehende Schall in dem Verhältniß stärker sein, in welchem die Schallquellen-Körper und Luftmassen größer sind, die dabei in den Zustand der Vibration versetzt werden, und in je ausgedehnterem Maaße die Resonanz gleichzeitig mitwirkt.

Die Elasticität der Schallquellen ist dabei insofern von großem Einflusse, als ein in Vibration versetzter Körper um so lebhafter schwingt, und die mit ihm in Berührung stehenden Körper und Luftmassen in demselben Verhältniß mehr zum Ausscheiden des Schallfluidums zu zwingen vermag, in welchem ihm jene Eigenschaft in verstärktem Maaße zukommt.

Bei denselben Schallquellen-Körpern und Luftmassen nimmt die Stärke des Schalles in dem Grade zu, in welchem die den mechanischen Akt erzeugende Kraft vermehrt wird. In so weit das Schallen von festen Körpern abhängig ist, kann auch durch die Größe der Berührungsflächen derselben eine Verstärkung des Schalles bewirkt werden, indem zwischen größern Berührungsflächen auch eine verhältnißmäßig größere Luftmasse der Pressung oder Quetschung unterliegen muß, als zwischen kleinern, und deßwegen durch das Aufeinanderschlagen der breiten Seiten zweier Metall- oder Holz-Platten ein stärkerer Schall erzeugt wird, als wenn dieselben Körper mit ihren schmalen Seiten aufeinander geschlagen werden.

Auch ist, unter sonst gleichen Umständen, die Stärke des Schalls abhängig von der Dichtigkeit der denselben erregenden Körpern, weil bei der Annäherung der sich gegenseitig pressenden, stoßenden oder reibenden Körper die Luft in minder dichte Körper schneller eindringen und sich dadurch in höherem Grade der Pressung u. s. w. entziehen kann, als ihr dieses dichtere Körper gestatten. Deßwegen ist auch ein durch das Aufeinanderschlagen von zwei Holzscheiben entstehender Schall in größerer Entfernung vernehmbar, als der, welcher durch das Aufeinanderschlagen von zwei eben so großen Korkscheiben hervorgebracht werden kann.

Ferner ist die Stärke des Schalles von der Dichtigkeit der Luft, in welchem er erzeugt wird, abhängig, weil diese von dem mit ihren Atomen verbundenen Aether in dem Verhältniß weniger enthalten kann, in welchem ihr Zustand ein mehr verdünnter ist, wie uns die vielfältigsten Erfahrungen und insbesondere der Unterschied in der Stärke des Schalles nachweist, welcher in ganz gleicher Weise das eine mal in der Thalebene und das andere mal auf einem hohen Berge erzeugt wird.

Ebenso findet eine Schall-Verstärkung in dem Verhältniß statt, in welchem die äußern Flächen der schallerregenden Körper geglättet sind, weil bei sonst gleicher Beschaffenheit der pressenden oder reibenden Körper-Flächen die Zahl ihrer Berührungspunkte in demselben Maaße zunimmt, in welchem sie glätter sind, und deßwegen auch z. B. der durch das Aufeinanderschlagen von zwei gut geglätteten Marmorplatten erzeugte Schall in größerer Entfernung gehört wird, als der, welcher durch das Aufeinanderschlagen von zwei eben so großen aber nur rauh behauenen Marmorplatten hervorgebracht werden kann u. s. w.

B. Abnahme der Schallstärke.

Der Grad, in welchem die ursprüngliche Intensität des Schalles zu unserm Gehörsinn gelangt, ist nach Verschiedenheit der jeweils obwaltenden Umstände ein verschiedener, und hängt derselbe hauptsächlich ab:

a. von dem Abstande zwischen dem Beobachter und der Schallquelle, weil das Schallfluidum sich sphärisch verbreiten und deßwegen ein um so geringerer Theil desselben das Ohr erreicht, je entfernter sich dieses von dem Schallerregungspunkte befindet;

b. von der Beschaffenheit der zwischen dem Beobachter und der Schallquelle befindlichen Gegenstände, weil die Erfahrung nachweist, daß der Schall eine Schwächung erleidet, wenn er aus einem weniger dichten Mittel in ein dichteres, oder umgekehrt, von einem dichteren Mittel in ein minder dichtes übergeht, und

c. von der jeweiligen Richtung des Luftzuges, da, wie uns ebenfalls die Erfahrung zeigt, der Schall auf verhältnißmäßig kürzere Entfernung vernehmbar ist, wenn er sich gegen den Windzug bewegt, und so umgekehrt.

Die Erklärung für diese unter c bezeichnete Erscheinung ergibt sich aus folgendem Sachverhalt:

Der durch Reibung oder auf irgend eine andere Weise freigewordene und in schwingende Bewegung versetzte Aether kündigt unserm Ohr sein Dasein nur insolange an, als seine Bewegung andauert.

Da aber mit dem Aufhören dieser Thätigkeit des Aethers seine Existenz ebenso wenig aufhören kann, als die einer ruhenden Kraft aufhört, so kann er nach seinem allmähligen Uebergange aus der Vibration in den Zustand der Ruhe sich nur wieder in derselben oder ähnlicher Verbindung mit der Luft und andern Körpern befinden, in welcher er sich vor seinem Freiwerden befunden hat. Befindet sich die Luft während dem Schallen eines Körpers im Zustande der Ruhe, so kann der auf dem Wege seiner sphärischen Verbreitung nach und nach wirkungslos gewordene Aether nach allen Seiten hin mit der Luft und andern Körpern vollkommen gleichmäßige Verbindungen eingehen. Kommt aber dem von der Schallquelle abströmenden Aether die in fortschreitender Bewegung befindliche Luft geradezu entgegen, so muß das, was bei ruhiger Luft zwischen dieser und dem Aether in entfernteren Räumen vor sich geht, in geringerem Abstande stattfinden, und deßwegen die Linie, auf welcher der Aether in der ihm entgegen strömenden Luft sich vorwärts zu bewegen vermag, in dem

Verhältniß eine kürzere sein, in welchem die Bewegung der ihm entgegen eilenden Luft eine schnellere ist.

Je mehr aber dieses der Fall ist, desto geringer muß auch die Entfernung sein, auf welche der Schall in der Richtung gegen den Luftstrom gehört werden kann.

Muß z. B. eine freigewordene Aethermenge, in der ihr mit der Geschwindigkeit g entgegen kommenden Luft den Weg w zurücklegen, um von den ihn immer auf's Neue begegnenden Lufttheilchen nach und nach absorbirt und damit in Unthätigkeit versetzt zu werden, und ist dazu die Zeit z erforderlich, so muß auch, wenn die Luft der Schallquelle mit der Geschwindigkeit = 2 g entgegenströmt, der ihr gleichmäßig entgegen eilende Aether schon mit dem Ablaufen der Zeit $\frac{z}{2}$ und somit auch schon nach der Zurücklegung der Wegstrecke $\frac{w}{2}$, also des halben Weges absorbirt und wirkungslos geworden sein.

Hiernach muß auch im umgekehrten Falle, in welchem nämlich die Luft von der Schallquelle gegen den Beobachter abströmt, w = 2 w, also die Entfernung, auf welche der Schall, unter sonst ganz gleichen Umständen gehört werden kann, das Doppelte betragen. Es ist klar, daß, obgleich das Maaß dieser Entfernungen auch durch andere nebenbei obwaltende Umstände beeinflußt werden kann, dasselbe im Wesentlichen dennoch von der Größe g abhängig bleiben muß.

C. Klangfarbe.

„Unter Klangfarbe versteht man die Eigenthümlichkeit, „durch welche die Klänge verschiedener Instrumente und ver„schiedener Stimmen, wenn sie auch gleiche Höhe und gleiche „Stärke besitzen, sich von einander unterscheiden." (Reis, Seite 235.)

Diese Unterschiede lassen sich aus den Verschiedenheiten der innern Beschaffenheit der Körper erklären. Mit einem bestimmten,

auf irgend eine Weise in Vibration versetzten Körper kann fortan und so lange immer derselbe Schall oder Ton erzeugt werden, als die dabei thätigen Kräfte und die sonstigen Umstände genau dieselben bleiben.

Den Beweis hiefür liefert sowohl der Satz: daß unter denselben Umständen gleiche Ursachen auch gleiche Wirkungen hervorbringen, als auch die Erfahrung nach welcher z. B. eine bestimmte Saite oder Glocke oder irgend ein anderes musikalisches Instrument stets den gleichen Ton vernehmen läßt, so lange sämmtliche ihn bedingende Faktoren die gleichen sind.

Aus dem gleichen Grunde müssen auch zwei oder mehrere, in jeder Beziehung ganz gleiche, aber von einander getrennte Körper-Massen, denselben Schall oder Ton vernehmen lassen, wenn sie mit der ganz gleichen Kraft und unter denselben Umständen in schwingende Bewegung versetzt werden.

Wenn uns aber die Erfahrung andererseits nachweist, daß äußerlich, nämlich nach Form und Ausdehnung ganz gleiche, hinsichtlich ihrer innern Beschaffenheit aber verschiedene Körper mehr oder weniger verschieden schallen oder tönen, selbst wenn jeder derselben mit der vollkommen gleichen Kraft und unter denselben weitern Umständen in Vibration gesetzt wird, so folgt hieraus, daß die Verschiedenheit der Töne im Ganzen genommen auf der Verschiedenheit der innern Beschaffenheit der Körper beruht, und deßwegen z. B. das Tönen von Metall- und Stein- oder Holz-Platten ein verschiedenes sein müßte. Es ist aber denkbar und in der Wirklichkeit gewiß auch der Fall, daß in manchen scheinbar durchaus gleich beschaffenen Körpern Gruppen von Massentheilchen vorkommen, welche hinsichtlich der Größe, Form und gegenseitigen Ruhe-Lage ihrer Atome vom Ganzen mehr oder weniger wesentlich abweichen. In soweit ein derartiges Verhältniß in einem Körper besteht, kann es auch nicht gelingen, mit demselben auf irgend eine Weise einen sogenannten reinen oder einfachen Ton zu erzeugen, indem es offenbar nicht möglich sein kann, daß Körper-Atome von ungleicher Größe, Form und verschiedener gegenseitiger Ruhe-Lage, während dem Vibriren des betreffenden Körpers die ganz

gleichen Hin- und Hergänge machen und gleiche Verdichtungen bewirken können.

Dagegen muß das Schallen eines durchaus gleichartigen Körpers in dem Verhältniß ein reineres oder einfacheres sein, in welchem seine innere Beschaffenheit, insbesondere die gegenseitige Lage, Form und Größe seiner Massentheilchen eine regelmäßigere und gleichere ist.

Die Klänge stehen in dieser Beziehung obenan, und wenn man berücksichtiget, daß deren Erzeugung in dem Grade mehr gelingt, in welchem dazu Körper von größerer und gleicherer Dichtigkeit gewählt werden, so erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß hiemit die Klangerregung im genauen Zusammenhange stehe.

D. Tonhöhe.

Wird irgend ein Körper mittelst Stoß oder Schlag u. dergl. mit oder ohne Unterbrechung in schwingende Bewegung versetzt, so bleibt, wie so eben angeführt wurde, der daraus resultirende Schall oder Ton stets derselbe, so lange die Umstände, unter welchen dieß geschieht, in jeder Beziehung ganz die gleichen sind.

Wird aber die räumliche Ausdehnung der betreffenden Schallquelle reduzirt, somit ihre Gesammtmasse vermindert, und dieselbe nachher in ganz gleicher Weise, also auch mit der gleichen Kraft gestoßen oder gerieben u. s. w., so muß natürlich, weil sich die Größe der Wirkung mit der Größe der erschütternden Ursache in das richtige Verhältniß stellt, die Vibration der reduzirten Schallquellen-Theile in dem Verhältniß eine größere oder vielmehr schnellere sein, in welchem jene Reduktion eine größere war.

Die Querschwingungen der Körper und insbesondere die Schwingungen der verschiedenen Saiten weisen uns dieses Verhältniß sehr deutlich nach, indem dieselben unter sonst ganz gleichen Umständen während einer bestimmten Zeit in dem Verhältniß eine größere Zahl von Schwingungen vollbringen, in welchem sie dünner und kürzer sind. Nach dem Vorausgegangenen wird durch jede in einem Körper direkt oder indirekt bewirkte Schwingung, somit bei jedem Hin- und Hergange seiner Massentheilchen eine

augenblickliche Annäherung dieser Theilchen und damit ein Ausscheiden von Aether bewirkt. Da nun für die Vollführung jeder Schwingung in dem schallenden Körper stets eine Zeit erforderlich ist, und jede der dabei stattfindenden Annäherung der Massentheilchen desselben eine Ausscheidung von Schall-Aether zur Folge haben muß, so muß offenbar auch zwischen je zwei aufeinander folgende Aetherausscheidungen ein Zeitraum liegen, und zwar ein um so längerer, je größer die den Massentheilchen zukommende Schwingungsweite ist.

Hieraus folgt aber, daß das auf dem bezeichneten Wege zur Ausscheidung kommende Schallfluidum in den meisten Fällen der Schallerregung, nicht in stetigem Zusammenhange, sondern nur in Bruchstücken von Schallstrahlen zu unserem Gehörsinn gelangen kann, und die Abstände der Endtheile dieser Schallbruchstücke in dem Verhältniß größer sein müßen, in welchem die Zahl der in einer bestimmten Zeit stattfindenden Schwingungen eine kleinere ist.

Nun kann aber nachgewiesen werden, daß, unter sonst gleichen Umständen, bei fortgesetzter Steigerung der Schwingungszahl, sowohl die räumlichen Abstände der die Schallerregung bewirkenden Verdichtungen in jeder Schwingung, also auch die für eine Schwingung erforderlichen Zeitabschnitte mehr und mehr abnehmen, und endlich, wenigstens sehr annähernd, auf Null heruntersinken müssen.

Es muß daher auch das, durch das Vibriren der Körper zum Ausscheiden gezwungene Schallfluidum in dem Verhältniß in stetigem Zusammenhange zu unserem Gehörsinn gelangen, in welchem, unter sonst ganz gleichen Umständen die Zahl der in einer bestimmten Zeit stattfindenden Schwingungen eine größere ist.

Hieraus, und aus dem Erfahrungssatze, nach welchem die Tonhöhe mit der Schwingungszahl des Tones wächst, folgt nun, daß die Höhe der Töne auf der Stetigkeit des Zusammenhanges des Schallfluidums, beziehungsweise auf der der Schallstrahlen beruht, und dieselbe sich daher ihrem Hochpunkt stets um so mehr nähern muß, je weniger jener Zusammenhang unterbrochen ist.

§ 15.

Warum gestattet die Loch-Sirene nur eine begrenzte Schallerregung?

Wenn bei einem, aus irgend einer Oeffnung gleichförmig ausfließenden Wasserstrahl die Länge des in der Zeit z = 1 zurückgelegten Weges = L = 1, und der Querdurchschnitt des Wasserstrahls = q = 1 ist, so ist die Wassermenge M = q × L × z = 1 × 1 × 1 = 1. Es fließt nämlich durch die Oeffnung in der Zeit z = 1 ein Wasserprisma oder ein Wasser-Cylinder aus, welches oder welcher q zur Grundfläche, und L zur Länge oder Höhe hat.

Da nun der Werth dieser Höhe oder Länge L mit der Dauer des Wasserabflusses im geraden Verhältniß steht, sonach mit dieser zu- oder abnimmt, so kann es nicht zweifelhaft erscheinen, daß M auch in dem Verhältniß größer oder kleiner werden muß, in welchem, unter sonst ganz gleichen Umständen, z größer oder kleiner wird.

Es kann deßwegen in der obigen Gleichung an die Stelle von L das die Ausströmungs-Dauer bezeichnende z, und somit auch M = q × z gesetzt werden.

Wird während dem unveränderten Abfließen eines Wasserstrahls in der Zeit z = 1 ein Schieber mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über den Querdurchschnitt q = 1 hingeschoben, so muß dieser in dem Verhältniß, in welchem dadurch seine Deckung bewerkstelligt wird, schmäler und endlich = 0 werden.

In dem Augenblicke, in welchem jene Deckung beginnt, ist der Querdurchschnitt q zwar noch = 1, allein da derselbe, wie so eben gezeigt wurde, in diesem Falle nach und nach auf 0 herabsinken muß, so kann er auch während der Zeit z dem Abflusse des Wasserstrahls nicht mehr seine ganze = 1 gesetzte Fläche, sondern nur noch den Durchschnitt von 1 und 0, also nur noch $\frac{1 + 0}{2} = 0{,}5$ darbieten.

Da nun in dem Verhältniß, in welchem die allmählige Verengung des Querdurchschnittes q stattfindet, auch die in der Zeit z abfließende Wassermenge kleiner werden und schließlich ebenfalls auf 0 herabsinken muß, so kann dieselbe unter den gegebenen Umständen auch nicht mehr $= q \times z$ sondern nur noch $= \frac{q}{2} \times z$ also M nur noch $= 0{,}5 \times 1 = 0{,}5$ sein.

In diesem Falle ist vorausgesetzt, daß die Zeit z, während welcher die Deckung der Abflußöffnung des Wasserstrahls stattgefunden habe $= 1$ (etwa gleich 1 Sekunde) sei.

Wird aber diese Deckung in dem Grade beschleunigt, daß dazu nicht die Zeit eines ganzen sondern nur die eines halben z, also nur $\frac{z}{2}$ erforderlich ist, so ist M nicht mehr $= 0{,}5 \times 1 = 0{,}5$ sondern nur noch $= 0{,}5 \times \frac{z}{2} = 0{,}5 \times \frac{1}{2} = 0{,}25$, und wenn in dieser Beziehung eine Steigerung in dem Maaße stattfindet, daß zur Deckung der Abflußöffnung in aufsteigender Ordnung nur $\frac{z}{3}$, $\frac{z}{4}$, $\frac{z}{4}$, $\frac{z}{5}$ u. s. w. erforderlich ist, so erhält man:

$$M = 0{,}5 \times 1 = 0{,}500000$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{2} = 0{,}250000$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{3} = 0{,}166665$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{4} = 0{,}125000$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{5} = 0{,}100000$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{6} = 0{,}083333$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{7} = 0{,}071428$$

$$M = 0{,}5 \times \frac{1}{8} = 0{,}062500$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{9} = 0,055555$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{10} = 0,050000$$

und wenn man behufs einer unschädlichen Abkürzung die Deckungsgeschwindigkeit in größeren Abstufungen zunehmen läßt, so erhält man ferner:

$$M = 0,5 \times \frac{1}{100} = 0,005000$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{500} = 0,001000$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{1500} = 0,000330$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{2500} = 0,000200$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{3500} = 0,000142$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{8000} = 0,000062$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{16000} = 0,000031$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{32000} = 0,000015$$

$$M = 0,5 \times \frac{1}{64000} = 0,000007$$

Aus diesen Zahlen-Verhältnissen ist nun klar zu ersehen, daß die durch die Ausfluß-Oeffnung des Wasserstrahls abströmende Wassermenge M, unter sonst gleichen Umständen, in dem Verhältniß, in welchem die Deckung jener Oeffnung schneller geschieht, kleiner wird, und dabei auf ein Minimum herabsinken muß, welches ganz füglich gleich 0 gesetzt werden kann.

Bewerkstelligt man die Deckung der Wasser-Abflußöffnung anstatt mittelst eines Schiebers durch die Drehung einer in ihrem Rande mit Löchern versehenen Scheibe, wie bei der Loch-Sirene, so gelangt man zu den ganz gleichen Resultaten, wobei sich natür-

lich der Deckungsakt um so öfter wiederholt, je mehr Löcher in der Scheibe vorkommen.

Da nun das, was so eben von den Abflußverhältnissen eines Wasserstrahls durch eine einzige Oeffnung, oder durch eine beliebige Zahl von Löchern gesagt ist, unzweifelhaft auch für das Abfließen eines gepreßten Luftstromes durch die Löcher einer Sirenen-Scheibe seine volle Gültigkeit hat, so muß, wenn die Drehungsgeschwindigkeit derselben auf einen gewissen höhern Grad gesteigert wird, auch die abfließende Luftmasse auf ein Minimum herabsinken, welches eine Pressung und Reibung der Luft an den Rändern der Scheibenlöcher unthunlich und damit auch die Erzeugung eines Tones oder Schalles unmöglich machen muß.

Hieraus läßt sich nun erklären, warum das Tönen einer in Bewegung gesetzten Lochsirene anfänglich eine Zeit lang zunehmen — nach der Erreichung eines gewissen Hochpunktes aber mehr und mehr abnehmen und schließlich mit einem Rauschen oder Zischen u. dergl. enden muß. Dieses schließliche Rauschen u. s. w. hat seinen Grund theils in der, aus der Vibration der Maschienen-Theile resultirenden indirekten Schallerregung, und theils in der durch die schnellere Drehung bewirkte stärkere Reibung der Sirenentheile an der diese umgebende Luft. Auch mag in manchen Fällen die Unvollkommenheit des ganzen Apparats etwas dazu beitragen.

Es ist einleuchtend, daß die Wirkung der dabei stattfindenden indirekten Schallerregung nach Maßgabe des Materials, aus welchem das Instrument zusammengesetzt ist, sehr verschieden sein kann.

Wird das gewöhnliche Experiment mit der Lochsirene dahin abgeändert, daß man die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe, nachdem dieselbe auf einen zwar beliebigen aber dennoch ein stärkeres Tönen des Instrumentes ermöglichenden Grad gesteigert ist, auf diesem ganz unverändert erhält, und nebenbei durch eine besondere, von jenen Drehungen abhängige Einrichtung die Scheiben-Oeffnungen nach und nach schließen läßt, so muß, weil dadurch eine Luftströmung durch die Scheiben-Oeffnungen und damit auch ein Reiben der Luft an den Rändern dieser Oeffnungen

unmöglich gemacht wird, auch hier, wie bei der gewöhnlichen Behandlung der Lochsirene ein Verschwinden des Tones eintreten.

Da aber hier das allmählige oder schnellere Verstummen des Instrumentes offenbar nicht auf einer Vermehrung der Anzahl von Scheibendrehungen in einer Sekunde, also nicht auf einer Steigerung der Schwingungszahl, sondern allein nur auf dem endlichen Schließen der Scheibenlöcher beruhen kann, und nach dem Vorausgegangenen das Verstummen der Lochsirene bei gewöhnlicher Behandlung derselben, also in Folge einer äußersten Steigerung der Drehungsgeschwindigkeit ebenfalls auf dem allmähligen Schließen der Scheibenöffnungen beruht, sonach der Grund des Verschwindens der Töne in beiden Fällen zwar der ganz gleiche ist, die Zahl der in einer gewissen Zeit stattfindenden Scheiben-Drehungen oder Schwingungen aber bei dem einen Hergange eine weit größere oder kleinere sein kann als bei dem andern, so können auch die Ergebnisse, der bisher mit der Lochsirene behufs der Feststellung der Grenzen der Hörbarkeit in der bekannten Weise angestellten Versuche nicht richtig sein.

§ 16.

Die singenden Flammen oder die chemische Harmonika.

Die vielen, und theilweise sehr abweichenden Erklärungen, welche zur Zeit über diese akustische Erscheinung vorliegen, lassen wohl keinen Zweifel darüber zu, daß die Akten über diesen in vielfacher Beziehung interessanten Gegenstand noch nicht geschlossen sind.

Die Schwierigkeiten, welche sich den bisherigen Versuchen, diese Frage befriedigend zu lösen, entgegen stellten, verschwinden jedoch vollkommen, wenn man auch hier, wie bei der Erklärung jeder andern akustischen Erscheinung, auf das eigentliche Wesen des Schalles zurückgeht.

Jede Temperatur-Veränderung in der atmosphärischen Luft hat, je nach dem Grade dieser Veränderung eine mehr oder we-

niger lokale Bewegung in derselben, und diese, wie uns so viele Erscheinungen beweisen, eine Selbstreibung der betreffenden Luftmassen an den in ihrer Bewegungsrichtung liegenden Gegenstände zur Folge.

Das Maaß, in welchem diese Selbstreibung stattfindet, und die daraus resultirende Wirkung auf den Gehörsinn, hängt unter allen Umständen hauptsächlich von der Bewegungsgeschwindigkeit der Luft, und der Beschaffenheit und Form der Gegenstände ab, welchen dieselbe während ihrer Selbstreibung begegnet. Die Orkane und Stürme, so wie die schnellern Luftströmungen überhaupt zeigen uns die Wirkungen der Selbstreibung der Luft im großartigsten Maßstabe, indem das aus denselben resultirende Rauschen, Sausen, Brausen u. s. w. nicht nur regelmäßig unsern Gehörsinn bis zur Unerträglichkeit belästigt, sondern in vielen Fällen alles sonstige Schallen weit übertönt.

Durch die vielfälltigsten Beispiele kann jedoch nachgewiesen werden, daß diese freiwillige Selbstreibung der Luft nicht immer bloß ein Getöse oder Rauschen u. dergl. zu erzeugen im Stande ist, sondern nebenbei auch das hervorzubringen vermag, was man Töne nennt.

Hieher sind u. a. auch die Töne der Aeolsharfe, der Telegraphendrähte, so wie diejenigen zu zählen, welche der Wind durch Reibung an den scharfen Kanten eines Messers, an den Kanten eines schmalen Spaltes, an der Mündung eines hohlen Schlüssels u. s. w. hervorbringt.

„Eine Flintenkugel singt auf ihrem Wege durch die Luft, „und wenn der Wind einen Tannenwald schüttelt, so ist es „eine Reibung gegen die Stämme und Aeste der Bäume, „welche das Rauschen wie von einem Wasserfall hervor„bringt.“ (Tyndall, Seite 259.)

Ist in dem Thürchen eines stärker geheizten Ofens eine verhältnißmäßig kleine Oeffnung angebracht, so ist die kältere Stubenluft durch ihre nachhaltigen Gleichgewichtsbestrebungen gezwungen, mit einer dem Temperatur-Unterschied zwischen der Ofen- und Stubenluft entsprechenden Geschwindigkeit durch jene Oeffnung

in den Ofenraum einzuströmen, und sich durch Selbst-Reibung an den Rändern jener Oeffnung zum Ausscheiden ihres Aethergehaltes zu zwingen.

Der auf diesem Wege ausgeschiedene Aether kündigt sich alsdann, je nach der Geschwindigkeit der Luftströmung, der Form der Oeffnung und der Beschaffenheit des Thürchen-Materials, so wie nach der Form und Stärke des Feuers im Ofen, bei unserem Gehörorgan entweder als ein bloßes Geräusch, oder als ein Sausen u. dergl. oder als ein wirklicher Ton an.

Wenn über die Flamme irgend eines Gases eine Glasröhre so gehalten oder befestigt wird, daß die Flamme im Innern der Röhre brennt, so muß, wenn zwischen der Röhrenlänge und Weite ein nur einigermaßen richtiges und der Stärke der Flamme entsprechendes Verhältniß besteht, die Luft in dem obern Theil nach einiger Zeit eine Temperatur erlangen, welche sie zu einem mehr und mehr raschen Aufsteigen befähigt. Diese aufsteigende Bewegung der erwärmten Luft in dem obern Theil der Glasröhre hat eine im Verhältniß ihrer Erwärmung zunehmende Einströmung von kälterer also dichterer Luft an dem untern Röhrenrande, und diese eine Selbstreibung der betreffenden Luftmassen in dem Maaße zur Folge, daß aus derselben ein Ausscheiden von Aether, und aus diesem, in ähnlicher Weise, wie bei dem gewaltsamen Einblasen von Luft iu den Fuß einer Orgelpfeife, ein Tönen resultiren muß. Es ist einleuchtend, „daß ein Schornstein eine Röhre dieser „Art in großem Maßstabe, und der Lärm einer Flamme im „Schornstein nur ein roher Versuch ist, Musik zu machen.“ (Tyndall, Seite 262.)

Hier, wie in so vielen andern Fällen erscheint das Bewegungsmoment der strömenden Luft als die den Schall direkt erzeugende Kraft, und da dieselbe nicht bloß eine Reibung an dem untern Rande der aufgesteckten Glasröhre veranlaßt, sondern diese zugleich in den Zustand der Vibration versetzt, somit auch eine indirekte Schallerregung bewirkt, so müßen auch gleichzeitig verschiedene Töne vernehmbar sein.

„Hält man eine Thermometerkugel voll Wasser in die „Flamme einer Spirituslampe, den S t i e l d e s T h e r m o-

„meters schräg gekehrt, so hört man die Töne, bald „nachdem das Wasser in's Sieden gekommen ist." (Tyndall, Seite 269.)

Aus der Forderung, daß bei diesem Experiment der Stiel des Thermometers schräg gestellt sein muß, wenn das beabsichtigte Tönen eintreten solle, so wie aus der Thatsache, daß die bekannte Rijke'sche Röhre augenblicklich aufhört zu tönen, wenn sie in die horizontale Lage gebracht wird, aber wieder anfängt zu tönen, sobald man sie aufrichtet, ergibt sich noch überzeugender, daß in den soeben näher bezeichneten Fällen die Töne u. s. w. durchweg aus der Selbstreibung der Luft resultiren.

Unzweifelhaft ist die Luftreibung auch die Entstehungsweise des singenden Tones, welchen die Memnonssäule hören ließ, was schon daraus zu entnehmen ist, daß die Säule hauptsächlich Morgens und Abends beim Sonnen-Auf- und Nieder-Gange, also in Folge einer verschiedengradigen Erwärmung einzelner Theile derselben stattgefunden hat.

§ 17.

Von dem Mittönen.

„Eine tönende Stimmgabel bringt eine andere, eine Saite „eine andere mit ihr konsonirende in der Nähe befindliche ebenfalls zum Tönen, und letztere tönt selbst „dann noch fort, wenn man den Ton der erstern unterbricht. „Wird der Ton der einen Saite auf einer Violine u. dergl. „auf einer zweiten Violine angegeben, so erklingt er auch „auf der ersten, wenn sie von jener nicht allzu entfernt ist und besonders, wenn sie auf einem hohlen „Kasten liegt. Jeder irgendwie hervorgebrachte Ton erregt „an jedem Körper, dessen Schwingungszahl beim selbstständigen Tönen dieselbe ist, denselben Ton. Bei kräftigen tiefen „Tönen erkennt man die Fortpflanzung der Tonschwingungen „durch die Luft an entfernten Flammen durch ein abwechselnd dunkleres und helleres Brennen." (Spiller, Seite 210.)

Hienach und nach dem, was man in dieser Beziehung anderwärts vorgetragen findet, ist das Gebiet des eigentlichen Mittönens auf diejenigen Fälle zu beschränken, in welchen ein fester Körper seine tönenden Schwingungen auf die ihn umgebende Luft, und diese dieselben auf einen ruhenden Körper zu übertragen im Stande ist.

Durch die Erfahrung ist festgestellt:

1. daß eine Schallquelle, durch deren Schwingungen ein ruhender Körper zum Mittönen veranlaßt werden solle, mit diesem sich in gleicher Stimmung befinden muß;

2. daß diese zwei Körper nur wenig von einander entfernt sein dürfen, wenn jenes Experiment gelingen soll, und

3. daß selbst bei genauer Erfüllung dieser Bedingungen es dennoch in vielen Fällen nicht gelingen will, das eigentliche, jede Mitwirkung der Resonanz fester Körper ausschließende Mittönen zu erzeugen.

Wenn die Mitte einer hinreichend gespannten Violin-Saite v in dem Maaße seitwärts abgezogen wird, daß sie nach plötzlichem Loßlassen während dem Durchschwingen ihrer Amplitude durch Reibung an der Luft einen Ton zu erzeugen vermag, so drängt sie auch gleichzeitig die in ihrer Schwingungs-Richtung befindliche Luftschichte in dem Grade vor sich her zusammen, daß die dadurch entstehende Luftwelle im Stande ist, auf die in jener Richtung befindlichen Gegenstände einen Stoß auszuüben und damit auch ihr Bewegungsmoment auf dieselben zu übertragen.

Ist der Gegenstand, der diese Luftwelle dabei trifft, eine zweite Saite w, welche der Saite v sowohl hinsichtlich ihres Stoffes als ihrer Länge, Dicke und Spannung vollkommen gleich kommt, und mit derselben parallel läuft, so wird jenes Bewegungsmoment der Luftwelle auch auf die Saite w übertragen, und diese dadurch ebenfalls in schwingende Bewegung versetzt, und in diesem Zustande so lange erhalten als die Saite v fortschwingt.

Ist aber die Saite w entweder dicker oder länger, oder schwächer oder stärker gespannt als die Saite v, so kann es den aus den gleichen Schwingungen der letztern resultirenden Luftwellen wohl gelingen, die erstere aus ihrer Ruhelage zu verdrängen, nicht

aber auch möglich werden, dieselbe in eine tönende Schwingung zu versetzen, weil wegen der leichten Verschiebbarkeit der Lufttheilchen in allen diesen Fällen das Bewegungsmoment der durch die Schwingungen der Saite v erzeugten Luftwellen dazu nicht ausreicht.

Hieraus ist wohl erklärlich, daß ein Mittönen überhaupt nur bei gleicher Stimmung der betreffenden Körper stattfinden kann.

Wenn bei jener Uebertragung der Schwingungen der Saite v auf die Luft und von dieser auf die Saite w das ursprüngliche Bewegungsmoment keine Schwächung erleiden würde, so müßte auch der Ton, welcher aus den Schwingungen der Saite w resultirt, in jeder Beziehung somit auch hinsichtlich seiner Stärke, dem Tone der Saite v vollkommen gleich sein.

Dieses ist aber nicht allein schon wegen dem Beharrungs-Vermögen der Luft und der Saite w, welches die Saite v und die von ihr erzeugte Luftwelle zu überwinden hat, sondern auch wie schon bemerkt, wegen der leichten Verschiebbarkeit der Lufttheilchen nicht möglich, und wenn dennoch unter Umständen ein Unterschied in dieser Beziehung nicht bemerkt werden kann, so hat diese scheinbare Gleichheit der Töne ihren Grund in der geringen Entfernung in welcher die beiden Saiten aufgespannt sind.

Eine weitere Abnahme des ursprünglichen Bewegungsmomentes der Saite v wird aber auch noch dadurch bewirkt, daß dem Wirksamwerden der durch diese Saite erzeugte Luftwelle stets eine Verdichtung der dieselbe bildende Luftmasse vorausgehen muß.

Hieraus ergibt sich nun auch, warum ein Körper nur dann zum eigentlichen Mittönen veranlaßt werden kann, wenn er von der zur Hervorbringung dieser Erscheinung gewählten Schallquelle nur wenig entfernt ist, und selbst in diesem Falle nur mehr oder weniger leise mittönt.

Deßwegen dürfen auch zwei Holzkästchen, auf welche gleich gestimmte Stimmgabeln befestigt sind, nur sehr wenig von einander entfernt stehen, wenn die eine derselben durch die Vibration der andern soll zum Mittönen veranlaßt werden können.

Sind die Saiten v und w nicht in paralleler Lage, so kann offenbar auch die das Mittönen vermittelnde Luftwelle nie die

ganze Länge der Saite w treffen, somit auch in dieser diejenige Schwingung niemals hervorbringen, welche nothwendig ist, wenn ein Mittönen bewirkt werden solle, und wenn in irgend einem Falle bei nicht paralleler Lage der Saiten dennoch ein Mittönen eintritt, so hat dieses seinen Grund in einer zufälligen Zurückwerfung der von der Saite v in Bewegung gesetzten Luftwelle, welche alsdann ergänzend einwirkt.

Das Mittönen ist jedoch nicht auf die Anwendung von Saiten-Schwingungen beschränkt, sondern es kann dasselbe auch noch auf manche andere Weise bewirkt werden; so z. B. kann eine etwas weitere Röhre dadurch zum Mittönen veranlaßt werden, daß man dieselbe einer tönenden Glocke sehr nahe bringt.

Bringt man zwei gleichtönende Stimmgabeln auf zwei sehr nahe nebeneinander stehende Holzkästchen, und wird die eine derselben mit dem Violinbogen angestrichen, so tönt die zweite mit.

Daß jedoch diese Erscheinungen nicht, wie es da und dort geschieht, ohne Weiteres zu den Resonanz-Erscheinungen gezählt werden dürfen, ergibt sich aus dem Nächstfolgenden:

„Die Resonanz ist sehr nahe verwandt mit dem Mittönen, „aber nicht mit demselben identisch; dies geht schon daraus „hervor, daß Resonanzböden in demselben Moment schweigen, „in welchem der Tonerreger verstummt, während der mittö„nende Körper in diesem Falle forttönt. Auch liegt darin „ein Unterschied, daß ein Resonanzboden für alle Töne re„sonirt, während der mittönende Körper für seine Töne „absolut genau gestimmt sein muß und nur diese resonirt.“ (Dr. P. Reis, Seite 230.)

Findet bei der Hervorbringung des Mittönens eine progressive Verstärkung der tonerregenden Kraft statt, so muß, wenn alle sonstigen Verhältnisse dieselben bleiben, in demselben Grade, in welchem dieß geschieht, auch eine Vermehrung der Schwingungszahl eintreten, und auf diesem Wege nach und nach nicht nur die Elastizitäts-Grenze der betreffenden Körper erreicht, sondern durch die Herbeiführung einer so ungewöhnlichen Vibration endlich auch der Zusammenhang der Massentheilchen aufgelöst werden. Nun besitzen aber bekanntlich die guten Darmsaiten einen so hohen

Elastizitätsgrad, daß ein Reißen derselben weit eher durch andere Umstände als durch einen äußerst hohen Grad der Vibration zu bewirken ist. Ganz anders verhält es sich aber mit der Steigerung der Schwingungszahl bei spröden Körpern, und insbesondere bei dem Glas, indem z. B. eine Glasröhre durch angemessene Behandlung leicht in so heftige Schwingungen versetzt werden kann, daß ein Zerbrechen derselben in größere und kleinere Stücke unausbleibliche Folge ist, und wenn man da und dort, der Mittheilung begegnet, daß Gläser, namentlich hohle Gläser dadurch zum Mittönen und zum endlichen Springen gebracht werden können, daß man mit dem Eigentone derselben in sie hineinsingt oder schreit, so darf derselben nach dem Gesagten wohl Glauben geschenkt werden.

Dieses Experiment muß natürlich um so sicherer gelingen, je dünner die betreffenden Gläser sind, und je sorgfältiger man bei der allmähligen Steigerung der Schwingungszahl oder der Erhöhung des Tones zu Werke geht.

Aus den vorstehenden Erörterungen über das Mittönen ergibt sich nun, daß dasselbe in allen Fällen, in welchen die Vibration des Urschallerregers die Folge eines mechanischen Aktes ist, durch die zwischen der Schallquelle und dem ruhenden Körper befindliche Luft vermittelt wird.

Das Mittönen der singenden Flammen beruht, wie wir in dem Nächstfolgenden darzulegen suchen werden, nur insofern auf etwas abweichenden Verhältnissen, als die dasselbe vermittelnde Luft nicht direkt auf den ruhenden Körper sondern zunächst nur auf die denselben umlagernde Luftmasse, und diese weniger in der Form von Wellen als durch einfachen Druck auf jenen Körper wirkt.

Sind die Atome einer größern oder kleinern Luftmasse A durch den Gegendruck der angrenzenden Luft an jeder Bewegung gehindert, und befindet sich deßwegen eine solche Luftmasse im Zustande vollkommener Ruhe, so kann schon durch eine äußerst geringe Schwächung jenes Gegendruckes diese Ruhe gestört, und damit je nach der Art dieser Ruhestörung ein mehrseitiges oder ein einseitiges Abströmen der Lufttheilchen aus dem Raume der Luftmasse A veranlaßt werden.

Diese und jede weitergehende Schwächung des den Zustand der Ruhe bedingenden Widerstandes kann entweder durch eine Steigerung des Wärmegrades, der die Luftmasse A umgebenden Luft, also durch deren Verdünnung, oder durch eine stellenweise oder allseitige Verdrängung derselben auf mechanischem Wege aus ihrer zeitlichen Lage bewirkt werden.

Die so allseitig oder nur nach einer Seite hin abströmenden Lufttheilchen üben in allen Fällen auf die in ihrer Bewegungslinie befindlichen Körper einen der Größe ihrer Bewegungsmomente entsprechenden Druck d aus, welcher so lange ganz derselbe bleibt, als weder jene Schwächung des Widerstandes noch die Expansivkraft der Luftmasse A eine Veränderung erleidet, also überhaupt alle Umstände ganz die vollkommen gleichen bleiben.

Da in dem Grade, in welchem die die Luftmasse A umlagernde Luft verdünnt, also ihr Widerstand vermindert wird, auch die dadurch in Bewegung kommenden dichtern Schichten der Luftmasse A auf die in ihrer Bewegungslinie liegenden Gegenstände einen vermehrten Druck ausüben müßen, so muß in Folge einer solchen Verminderung des Widerstandes auch der Druck von d auf 2d, 3d, 4d u. s. w. anwachsen können.

Ist z. B. der durch das Abströmen von Luft aus dem Raume der Luftmasse A bewirkte Druck d im Stande, eine von einer Röhre eingeschlossenen Gasflamme zum Flackern zu bringen, so muß der auf xd vermehrte Luftdruck eben so gut im Stande sein, diese Flamme auszulöschen, als es möglich ist, eine durch die Luft bewegte Kerzenflamme zum Flackern und bei schnellerer Bewegung derselben zum Auslöschen zu bringen.

Hieher bezüglich ist auf Seite 260 und 261 der acht Vorlesungen von Tyndall über den Schall vom Jahr 1867 gesagt:

„Wenn eine Gasflamme nur von einer Röhre einge-„schlossen wird, so ist gewöhnlich der von ihr erregte Luft-„zug schon genügend, die nöthige rhythmische Bewegung zu „erzeugen, welche sie selbst zum Singen bringt. Doch wer-„den nicht Alle von Ihnen die Stärke kennen, zu welcher „diese Flammenmusik sich erheben kann. Ich habe hier einen „kreisförmigen Brenner mit 28 Oeffnungen, aus dem eine

„Glasflamme brennt, und stecke über die Flamme diese Zinn„röhre, die 5 Fuß lang ist und $2^1/_2$ Zoll Durchmesser hat. „Die Flamme flackert zuerst, aber bald klärt sich die Reihe „ihrer Stöße zu vollkommener Regelmäßigkeit, und daraus „entsteht ein tiefer, klarer musikalischer Ton. Das Tempo „ihrer Wellen hängt im gewissen Grade von dem Umfange „der Flamme ab, und wenn ich das Gas allmählig herunter „drehe, so hört der Ton auf, den sie bisher gab," (und zwar, fügen wir hinzu, einfach deßwegen, weil durch dieses Herunterdrehen des Gases die Luftströmung durch den obern Theil der Röhre auf kurze Zeit in eine Stockung gebracht, beziehungsweise vorübergehend aufgehoben wird.)

„Nach einer augenblicklichen Pause gibt aber die Flamme „einen andern Ton, nämlich die Oktave des vorigen;" (weil, fügen wir hinzu, durch das Herunterdrehen des Gases die direkte Schallerregung vorübergehend etwas gehemmt, und damit der indirekt erzeugte Schall in den Stand gesetzt wird, sich einen höhern Grad von Geltung zu verschaffen.)

„Die erste Note war der Grundton der Röhre, welche die „Flamme einschließt, diese ist der erste Oberton. In der „That haben wir hier gerade wie bei den Orgelpfeifen eine „Luftsäule, die sich in Schwingungsbäuche, getrennt durch „Knoten, theilt."

„Lassen Sie mich nun die Wirkung dieser längern Röhre „a b (Fig. 111 a. f. S.) versuchen, die 15 Fuß lang und „4 Zoll weit, zu einem andern Zweck bestimmt war. Sie „wird von einem festen Ständer ss gehalten, und ich schiebe „den dünnen Brenner, der bei B in größerem Maßstabe ge„zeichnet ist, in sie hinein. Sie hören am Anfange das Ge„schwirr und nun auch den mächtigeren Ton. Schiebe ich „die Flamme weiter hinein, so wird die Bewegung stärker," (weil, fügen wir auch hier an, dadurch der Luftzug in dem obern Theil der Röhre vermehrt wird, und diese Vermehrung nothwendig auch ein vermehrtes Einströmen der Luft und eine stärkere Reibung derselben am untern Rande

der Röhre zur Folge haben muß) „bis endlich ein wahrer „Musiksturm von der Röhre ausbricht.“

„Nun ist aber plötzlich Alles vorbei, denn die Rückwirkung „ihrer eigenen Wellen hat die Flamme ausgelöscht.“

Nicht die Rückwirkung der eigenen Wellen, sondern der in der Röhre von unten nach oben ziehende heftige Luftstrom ist es, welcher, wie jede andere schnelle Luftbewegung das Auslöschen einer Flamme zu bewirken vermag.

In Vorstehendem haben wir einige von denjenigen Fällen näher betrachtet, in welchen das Abströmen von Lufttheilchen aus dem Raume einer Luftmasse A, oder eine Luftströmung überhaupt ausschließlich nur durch Verdünnung der Luft mittelst einer Temperatur-Erhöhung in derselben bewirkt wird. Nun kann aber bekanntlich die Luft zur Ausübung eines größern Druckes auf andere Körper auch dadurch veranlaßt werden, daß man ihre Expansivkraft durch ein Zusammendrücken und Drängen gegen andere Körper hin vermehrt.

Zur Comprimirung einer Luftmasse, in welcher die Wirksamkeit ihrer Spannkraft durch den Gegendruck der angrenzenden Luft aufgehoben ist, bedarf es zwar anfänglich nur einer geringen Kraft, allein wegen dem gleichmäßigen Fortbestehen jenes Gegendruckes, kann weder mit dieser geringen, noch mit irgend einer stärkern Kraft durch die bloße Zusammendrückung der Luft eine fortschreitende Bewegung ihrer Atome, sondern in allen Fällen nur ein gleichmäßiges Näherrücken derselben bewirkt werden.

Ein anderes Resultat, als das eben bezeichnete kann durch die Zusammendrückung der Luft auch in dem Falle nicht erzielt werden, in welchem dieselbe sich nicht auf die ganze, durch den Gegendruck der angrenzenden Luft im Zustande der Ruhe erhaltene Luftmasse, sondern bloß auf einen Theil derselben erstreckt; weil auch in diesem Falle die aus ihrer Gleichgewichtslage verschobenen Luftatome durch die Expansivkraft der angrenzenden Luftatome sofort wieder in ihre frühere Lage gedrängt, und in derselben erhalten werden.

Wegen diesem gegenseitigen Verhalten der Luftatome gegenüber der sie zusammendrückenden Kraft ist es auch nicht möglich,

durch ihre Comprimirung an den in ihrem Gebiete befindlichen Gegenstände eine bemerkbare Bewegung hervorzubringen.

Den Beweis hiefür liefert uns die Erfahrung u. a. auch dadurch in sehr auffallender Weise, daß durch das verschiedenartigste Stoßen, Drücken, Drängen, Theilen u. s. w. im Raume einer, durch den Gegendruck der angrenzenden Luft im Zustande der Ruhe erhaltene Luftmasse, an den in diesen befindlichen Gegenständen eine bemerkbare Bewegung nicht hervorgebracht werden kann.

Bezüglich dieses Verhaltens der im Zustande der Ruhe befindlichen Luft gegenüber der verschiedensten mechanischen Akte ist Seite 276 der acht Vorlesungen von Tyndall über den Schall vom Jahr 1867 u. a. Folgendes gesagt:

„Vor Ihnen brennt eine helle Kerzenflamme. Ich kann „schreien, klatschen, pfeifen, mit einem Hammer auf diesen „Amboß schlagen, oder ein Gemisch von Sauerstoff und „Wasserstoff explodiren lassen, obgleich in allen diesen Fällen „Tonwellen durch die Luft gehen, bleibt die Kerze dennoch „für den Ton unempfindlich, die Flamme zeigt keine Be„wegung.“

Ferner Seite 277 dieser Schrift:

„Sie sehen hier eine andere dünne blattförmige Flamme, „die von einem gewöhnlichen Fischschwanzbrenner ausgeht. „Sie mögen Töne beliebiger Höhe singen, die Flamme wird „nicht einmal zittern. Sie mögen Pfeifen, Stimmgabeln, „Glocken und Trompeten verwenden, ohne Erfolg. Eine „kaum bemerkbare Bewegung im Innern der Flamme zeigt „sich, wenn diese schrille Pfeife dicht daneben angeblasen „wird.“

Es wurde so eben nachgewiesen, daß in demselben Verhältniß, in welchem der Gegendruck der die Luftmasse A umschließende Luft in irgend welcher Weise, etwa durch eine Temperatur-Erhöhung geschwächt wird, eine dem Grade dieser Widerstands-Schwächung entsprechende Abströmung von Lufttheilchen aus dem Raume jener Luftmasse stattfinden muß, und daß schon eine

äußerst geringe Schwächung jenes Widerstandes eine solche Luftabströmung zur Folge haben kann.

Uebt die unter den bezeichneten Bedingungen aus dem Raume der Luftmasse A, abfließende Luft z. B. gegen eine in einer senkrecht stehenden Röhre brennende Gasflamme den Druck d aus und bewirkt dieselbe damit ein Flackern jener Flamme irgend welcher Art, so muß dieses in der ganz gleichen Weise so lange fortdauern, als die Umstände, welche die Flammen-Bewegung bewirkt haben, vollkommen gleich bleiben.

Wird nun während dem Bestehen dieser Verhältnisse, nämlich während der Dauer dieses gleichmäßigen und nachhaltigen Flackerns der Flamme die Luft in dem Raume der Luftmasse A durch irgend einen mechanischen Akt, also durch Druck oder Stoß in geringerem oder höherem Grade zusammengedrängt, so kann, weil nach der Voraussetzung der Gegendruck der die Luftmasse A umgrenzenden Luft geschwächt, beziehungsweise aufgehoben, und in Folge dessen die abstoßende Kraft der Luftatome wieder in volle Wirksamkeit getreten ist, die Comprimirung der Luft nicht mehr blos ein gegenseitiges Näherrücken ihrer Atome zur Folge haben, sondern es muß deren Bewegung nothwendig eine fortschreitende sein, und müssen dieselben deßwegen auch auf jene Gegenstände, welche sie dabei treffen, einen Druck ausüben, beziehungsweise den durch die schon im Abströmen begriffenen Luftmassen bewirkten Druck verstärken.

Kann z. B. die in Folge einer einfachen Schwächung des Gegendruckes der die Luftmasse A umgrenzenden Luft die in einer senkrechten Röhre brennende Flamme nur zum Flackern gebracht werden, so muß schon eine äußerst geringe Vermehrung des Druckes auf die am untern Rande dieser Röhre einströmende Luft eine verhältnißmäßige Wirkung auf jene Flamme hervorbringen. Wie die Erfahrung zeigt, liegt die Grenze der Erscheinungen, welche eine von einer Röhre umgebene Flamme darbietet, zwischen dem ruhigen Brennen und dem plötzlichen Erlöschen derselben.

Die Zeit, welche eine in einer senkrecht stehenden Röhre brennende Flamme bis zum Beginne des Flackerns braucht, so

wie jene, welche sie zu ihrem Uebergange vom Flackern zum Singen und zum Erlöschen bedarf, hängt zwar hauptsächlich von der Weite und der Länge der Röhre, so wie auch von der Stärke der Flamme und der Stelle, in welcher diese in der Röhre brennt, ab; allein diese sämmtlichen Erscheinungen folgen stets in einer gewissen Ordnung auf einander, wenn jene Verhältnisse nicht sehr abnorm sind.

Es ist einleuchtend, daß unter sonst ganz gleichen Umständen das Singen einer schon flackernden Flamme in dem Verhältniß früher eintreten muß, in welchem das Einströmen von Luft an dem untern Rande der Röhre schon annähernd ausreicht, das Singen der Flamme zu bewirken, und daß es deßwegen in sehr vielen Fällen nur einer ganz unbedeutenden Nachhülfe, also einer kleinen Vermehrung jener Luftzuströmung bedarf, um das Singen der Flamme zu bewirken.

Diese Nachhülfe kann einfach dadurch gegeben werden, daß man in dem Raum, aus welchem die Luft schon in Folge eingetretener Schwächung des Gegendruckes nach dem untern Rande der Röhre abströmt, eine entsprechende Zusammendrückung der Luft bewirkt, und damit eine vermehrte Luftströmung nach dem untern Rande der Röhre veranlaßt.

Da es nun nicht möglich ist, irgend einen, wenn auch noch so geringen mechanischen Akt zu vollziehen, ohne die denselben umgebende Luft in irgend welchem Grade zusammenzudrücken, so kann jene Vermehrung der Luftströmung auch schon durch Pfeifen, Singen, Schreien, Klatschen u. s. w. bewirkt werden, und muß daher auch, wie uns die Erfahrung sehr deutlich zeigt, auf diesem Wege eine Flamme zum Singen gebracht werden können.

Hört die auf dem eben bezeichneten Wege bewirkte Verstärkung der Luftströmung auf, und tritt an deren Stelle wieder jene ursprüngliche und schwächere Luftströmung, so muß natürlich auch das Singen der Flamme auf so lange aufhören, als eine gleiche Vermehrung der Luftströmung nicht wieder veranlaßt wird.

Hieraus läßt sich das Gehorchen der in Rede stehenden Flammen im Singen und Schweigen vollkommen ausreichend erklären.

Wie schon oben geeigneten Ortes angeführt wurde, antworten frei brennende, also nicht von Röhren umgebene Flammen auf Geräusche oder Töne in keinerlei Weise. Dieselben können jedoch dafür dadurch empfindlich gemacht werden, daß man das Gleichgewicht der sie umgebenden Luft auf irgend eine Weise stört.

Dieses kann z. B. bei einer Kerzenflamme dadurch geschehen, daß man aus einem Gebläse einen Luftstrom durch dieselbe treibt, und damit die in der nähern Umgebung der Flamme befindlichen Luft gewaltsam nach vornen und nach der Seite hin verdrängt und comprimirt.

Es kann nicht zweifelhaft erscheinen, daß in dem Augenblicke, in welchem jenes Gebläse anfängt wirksam zu sein, in der seinen Strömungs-Raum umgebenden Luft eine Störung des Gleichgewichtes eintreten, und die so veranlaßte Bewegung ein Streben der betreffenden Lufttheilchen, sich wieder in das frühere Gleichgewicht zu setzen, zur Folge haben muß. Hieraus resultirt, wie durch dahin bezügliche Experimente nachgewiesen ist, ein Flackern der so behandelten Flamme.

Wird die in der bezeichneten Weise veranlaßte Bewegung der Luft in nicht zu großer Entfernung von der flackernden Flamme durch irgend einen mechanischen Akt, z. B. durch Pfeifen unterstützt oder verstärkt, so muß auch die Wirkung der schon vor dem Vollzuge eines solchen oder ähnlichen mechanischen Akts, in dem Gebiete der flackernden Flamme eingetretene Luftströmung in allen Fällen eine verstärkte sein.

Wie durch Experimente nachgewiesen werden kann, drückt sich die so verstärkte Wirkung der Luftströmung gegen die flackernde Flamme in einem sichtbaren Hüpfen derselben aus.

Es ist also auch hier wieder nur die Luft, welche durch ihre naturgesetzlichen Bewegungen diese verschiedenen Erscheinungen hervorbringt.

Hieher bezüglich ist Seite 276 und 277 der acht Vorlesungen von Tyndall, u. a. auch Folgendes gesagt:

„Ich treibe nun aus diesem kleinen Gebläse einen schma-
„len Luftstrom durch die Kerzenflamme, wodurch sie zu
„flackern beginnt und zugleich an Helligkeit verliert. Wenn
„ich nun pfeife, so hüpft die Flamme sichtbar.“

§ 18.

Trewelyan'sche Töne.

Es kann zwar keinem Zweifel unterliegen, daß die Wärme die Ursache ist, welche bei dem bekannten trewelyan'schen Wieger- oder Wakler-Apparate die Bewegungen des Wiegers erzeugt und unterhält, allein eine Erklärung darüber, daß diese Bewegungen das Hervortreten eines Tones zur Folge haben, ist damit noch nicht gegeben.

Wie sich aus dem Nächstfolgenden ergeben soll, beruht auch hier die Erzeugung von Tönen lediglich auf dem Ausscheiden des Schallfluidums aus der Luft. So oft nämlich der Wieger des in Rede stehenden Apparates mit einer seiner Rinnen-Kanten auf die ihm unterlegte Bleimasse fällt, wird die zwischen dieser Masse und jener Kante befindliche Luft gepreßt und dadurch gezwungen, das in ihr befindliche Schallfluidum auszuscheiden.

In jenen Fällen, in welchen die durch die Bewegungen des erwärmten Wiegers auf dem Bleiklotze erzeugten Schläge sehr schnell aufeinander folgen, verlieren die einzelnen Schläge ihre Individualität und fließen zu einem musikalischen Tone zusammen.

Nebenbei wird eine Ergänzung, beziehungsweise eine Verstärkung dieser Töne dadurch bewirkt, daß der erwärmte Wieger ein schnelles Ab- und Zurückströmen der ihn umgebenden Luft und damit eine Selbstreibung derselben in dem Grade veranlaßt, daß auch auf diesem Wege eine gleichzeitige Aetherausscheidung stattfinden muß.

§ 19.

Lücke, welche nach der derzeitigen Schalltheorie zwischen den Schwingungszahlen des Schalles und den der Wärme besteht.

„Es scheinen demnach, (nämlich nach dem dort Voraus-„gegangenen) die Grenzen des Tonreichs im Allgemeinen „bei 60 einfachen oder 30 Doppelschwingungen in der Tiefe, „und bei 50,000 einfachen oder 25,000 Doppelschwingungen „in der Höhe zu liegen.“

„Erst in weiter Entfernung begegnen wir den wärme-„und licht-erzeugenden Aetherschwingungen. Die dunkle „Wärme beginnt mit 65 Billionen Schwingungen in der „Sekunde, die sichtbaren Strahlen liegen zwischen 400 und „800 Billionen, die chemischen Strahlen überschreiten 1000 „Billionen.“ (Seite 231 der Akustik von R. Radau, 1869.) Es besteht sonach zwischen der Zahl der Aether-Schwingungen von 65,000,000,000,000, in der Sekunde mit welcher die dunkle Wärme beginnt, und der Schwingungszahl irdischer Körper = 38,000 bis 40,000 in der Sekunde, die eine Schallerzeugung nicht mehr gestattet, eine so höchst auffallende Lücke, daß sie nach unserer Ueberzeugung bei akustischen Erörterungen nicht unbeachtet bleiben darf.

Bei einer nähern Betrachtung dieses herrenlosen Gebietes zwischen der untern Grenze der Aetherschwingungs-Zahlen und der obern Grenze der noch wahrnehmbaren Schwingungszahlen irdischer Körper kommt zunächst in Betracht zu ziehen, daß keinerlei Gründe bezeichnet werden können, aus welchen sich erklären ließe, warum denn die Thätigkeit des Aethers von 65 Billionen Schwingungen in der Sekunde abwärts eine so plötzlich endende sein solle.

Aber selbst wenn erwiesen wäre, daß der Aether auch noch Schwingungen bis zu der Zahl 40,000 herunter in der Sekunde

vollbringen könne, und ihm sonach auch jenes scheinbar herrenlose Gebiet zwischen 65 Billionen und 40,000 Schwingungen in der Sekunde angehöre, bliebe immer noch ein Zweifel darüber, ob dessen Thätigkeit nicht auch in das Gebiet jener 40,000 Schwingungen der irdischen Körper in der Sekunde hineinreiche.

Es muß sonach die Beantwortung der Frage: ob denn zwischen der niedrigsten Zahl der Aetherschwingungen und der höchsten Zahl der wahrnehmbaren Schwingungen irdischer Körper jene große Lücke wirklich bestehe, auch das Gebiet dieser letztbezeichneten Schwingungen umfassen.

Wird ein Eisenstab durch geeignetes Hämmern auf einem Amboße nach und nach so weit erhitzt, daß an ihm die dunkle Wärme bemerkbar wird, so vollbringt, nach dem oben Angeführten, der dadurch in Freiheit und in Bewegung gesetzte Aether in der Sekunde 65 Billionen Schwingungen.

Ein durch Hammerschläge in dem eben bezeichneten Grade erwärmter Eisenstab kann durch fortgesetztes Hämmern zum Glühen und damit zum Leuchten gebracht werden.

Bekanntlich besteht zwischen dem Lichte und den Aetherschwingungen ein so inniger Zusammenhang, daß ein Uebergang jenes Eisenstabes von dem blos erwärmten Zustande in den des Glühens nur aus einer Steigerung der Zahl der Aetherschwingungen von 65 Billionen auf über 400 Billionen in der Sekunde resultiren kann.

Da nun die Erfahrung nachweist, daß ein durch Hämmern bis zu einem gewissen Grade erwärmter Eisenstab nicht schon durch einige weitere Hammerschläge zum plötzlichen Glühen gebracht werden kann, sondern derselbe, wie das Auge deutlich wahrnehmen kann, erst während länger fortgesetztem Hämmern und nur allmählich von dem schwachen Leuchten zum hellen Leuchten übergeht, so kann offenbar auch die Zahl der dabei stattfindenden Aetherschwingungen nicht plötzlich, sondern nur nach und nach von 65 Billionen auf über 400 Billionen ansteigen.

Aus demselben Grunde, aus welchem das Leuchten des Eisenstabes mit der Steigerung der Zahl der Aetherschwingungen nach

und nach zunimmt, muß dasselbe auch umgekehrt in dem Verhältnisse abnehmen, in welchem die Zahl der Aetherschwingungen in derselben Zeit eine geringere wird.

Da nun ferner, wie schon wiederholt gezeigt wurde, der in und an irdischen Körpern befindliche Aether durch mechanische Akte der verschiedensten Art in Freiheit und in Bewegung versetzt werden kann, so muß auch dessen Schwingungszahl in dem Verhältniß eine kleinere werden, in welchem die Menge dieser Arbeit während derselben Zeit eine geringere wird, und daher auch, wenn die Menge dieser Arbeit nach und nach auf Null vermindert wird, auch die Zahl der Aetherschwingungen allmählich auf Null herabsinken.

Es kann deßwegen auch die allmähliche Abnahme der Zahl der Aetherschwingungen nicht blos auf die zwischen 40,000 und 65,000,000,000,000 liegenden Aetherschwingungen beschränkt sein, sondern es muß sich dieselbe nothwendig auch auf die weiter abwärts liegenden geringern Aetherschwingungs-Zahlen erstrecken; somit auch auf sämmtliche, von 65 Billionen abwärts liegende Zahlen-Abstufungen ausdehnen.

Hienach ist, in so weit es sich um Aetherschwingungen handelt, nicht nur das Gebiet zwischen den Zahlen der Aetherschwingungen von 65 Billionen in der Sekunde und den 40,000 Schwingungen irdischer Körper in der Sekunde kein herrenloses Gebiet, sondern es finden auch Aetherschwingungen von 40,000 abwärts bis zur Null herunter statt.

Wenn nun diese, von 65 Billionen in der Sekunde abwärts liegenden Zahlen von Aetherschwingungen weder für das Gebiet der Wärme-Erregung, noch für das Gebiet der Lichterregung in Anspruch genommen sind, und, wie schon in den vorausgegangenen Paragraphen nachgewiesen wurde, die Schwingungen irdischer Körper bei der Schallerregung nur als Mittel zum Zwecke dienen können, so kann auch das, was in unserem Gehörsinn die Empfindung des Schalles hervorbringt, nur der Aether sein, welcher durch mechanische Akte zum Ausscheiden gezwungen, und dabei in der Weise in Bewegung gesetzt wird, daß die Zahl seiner Schwingungen in der Sekunde nach Maßgabe der Stärke des mechanischen Aktes zuneh-

mend, bis auf 65 Billionen ansteigt, in so weit überhaupt als richtig angenommen werden kann, daß diese Zahl wirklich diejenige Anzahl von Aetherschwingungen bezeichnet, mit welcher die dunkle Wärme beginnt.

§ 20.

Die Blas-Instrumente und ihre Ton-Verhältnisse.

Da nach dem unter Paragraph 5 Vorgetragenen bei den Orgelpfeifen und den Blas-Instrumenten überhaupt die eingeschlossene Luftsäule zwar nicht selbst der tönende Körper sein kann, ohne eine solche Luftsäule es aber nicht möglich ist, mit der Orgelpfeife einen Schall oder Ton zu erzeugen, so folgt hieraus, daß jener eingeschlossenen Luftmasse in allen dahin bezüglichen Fällen eine bestimmte und maßgebende Funktion zukommen müsse.

Bekanntlich gelangt von dem in der atmosphärischen Luft befindlichen Schallfluidum in dem Verhältniß mehr zu unserem Gehörsinn, in welchem die Geschwindigkeit der fortschreitenden Luftbewegung zunimmt, indem sie dabei durch das Anstoßen an den in ihrer Bewegungsrichtung liegenden Gegenständen nicht nur nach dem Verhältniß ihrer schnellern Bewegung mehr gepreßt und gerieben wird, sondern gleichzeitig auch jene Gegenstände in höherem Grade in Vibration setzt, also auch eine indirekte Schallerregung bewirkt, und damit das bekannte Rauschen und Brausen oder Säuseln u. s. w., und unter Umständen auch ein Tönen hervorbringt.

Solche und ähnliche Erscheinungen werden dem Gehörsinn wahrnehmbar, wenn z. B. eine Geschoß-Kugel durch die Luft getrieben, ein Licht rasch durch die Luft bewegt, ein Luftstrom an die Mündung eines hohlen Schlüssels stößt, u. s. w.

In jenen Fällen, in welchen die Luft während ihrer Bewegung eine ausreichende Selbstpressung erleidet, und die betreffenden Körper eine gewisse äußere Form und innere Beschaffenheit besitzen, geht jenes Rauschen und Säuseln in ein Schallen oder

Tönen über, wie uns z. B. die richtig aufgestellte Aeolsharfe, das Reiben einer Fensterscheibe mit benetztem Finger, einer harten Platte mit einem Nagel, die Bewegungen in ungeölten Maschinen, das Bremsen von Bahnzügen, die Luftreibungen an den Telegraphen-Drähten u. s. w. nachweisen.

Wird ein Luftstrom durch die Windspalte einer seitlich nicht geschlossenen Orgelpfeife getrieben, so kann damit zwar wohl ein schwaches Geräusch, aber niemals ein Ton oder Schall erzeugt werden. Der nächste Grund hievon ist wohl der Umstand, daß in diesem Falle ein großer Theil der durch die Windspalte getriebenen Luft ohne eine stärkere Reibung oder beachtungswerthe Veränderung in ihrer Dichtigkeit und somit ohne Ausscheidung von Aether durch die seitliche Oeffnung des Rohres abströmen kann.

Da aber dieser Uebelstand dadurch nicht beseitigt werden kann, daß man die durch den seitlichen Spalt der Röhre abströmende Luftmasse durch eine entsprechende Verstärkung des Luftstromes in der Windspalte ersetzt, so kann der weitere und eigentliche Grund des Nichttönens seitlich offener Orgelpfeifen nur darin liegen, daß die, an der Oberlippe dieses Instrumentes sich theilende und reibende Luft nur durch einen gewissen höhern Grad der Verdichtung der Röhrenluft gezwungen werden kann, ihren Schalläther auszuscheiden.

Dieser höhere Grad von Luft-Verdichtung ist aber nur durch eine verstärkte Pressung der Luft zu erreichen, und da dieser Luftzustand in den geschlossenen Orgelpfeifen mittelst nachhaltiger Einströmung von Luft durch die Mundspalte herbeigeführt werden kann, so besteht die Aufgabe der in den Orgelpfeifen eingeschlossenen Luftsäulen lediglich darin, daß sie die ihnen durch die Windspalten zuströmenden Luftmassen ausschließlich der scharfen Kanten der obern Mundlippen zuweisen.

An dieser Kante in einem hinlänglich verdichteten Zustande angekommen, muß der ganze nachhaltig und gleichmäßig eindringende Luftstrom sich an derselben reiben, und damit das in ihm befindliche Schall-Fluidum zum Ausscheiden zwingen.

Hiernach erscheint uns zunächst die Reibung eines Luftstromes an festen Körpern als derjenige mechanische Akt, durch welchen bei

den Orgelpfeifen und den Blas-Instrumenten überhaupt ein Ton oder Schall, oder auch nur ein bloßes Geräusch u. s. w. erzeugt wird.

Dieses ist die direkte Schallerzeugung mit den Orgelpfeifen und Blas-Instrumenten und würden die dadurch vernehmbar werdenden Töne durchaus ganz andere sein, wenn bei diesen Instrumenten nicht nebenbei auch eine indirekte Schallerregung in irgend welchem Maaße stattfinden würde. Daß dieses aber der Fall ist, wurde schon oben nachgewiesen.

Bei den Zungenpfeifen wird das Tönen oder Schallen zunächst durch Pressung und Reibung der in dem Raumgebiete der Zungen befindlichen Luft erzeugt und besteht sonach bei diesen Instrumenten die direkte Schallerregung in dem eben bezeichneten mechanischen Akte.

Durch die nahezu gleichzeitig eintretende Vibration der Zunge und der Röhrenmasse wird die indirekte Schallerregung bewirkt.

Wie sich aus der täglichen Erfahrung leicht nachweisen läßt, ist das Verhältniß, in welchem die Töne hinsichtlich ihrer gegenseitigen Stärke aus der direkten und indirekten Schallerregung gleichzeitig hervorgehen, bei den verschiedenen Schallquellen ein mehr oder weniger, und theilweise sogar ein sehr wesentlich verschiedenes. Dieser Unterschied beruht theils auf der größeren oder geringeren Fähigkeit der Körper zu vibriren und theils auf dem Maaße der äußern Hindernisse, welche die Vibration zu beschränken vermögen.

So z. B. müssen die Bewegungen der Klaviersaiten, wenn die aus denselben gleichzeitig hervorgehenden, auf direktem und indirektem Wege erzeugten Töne nicht sollen in ein musikalisches Geräusch übergehen können, schon in dem Augenblicke ihrer Anregung durch Anwendung der sogenannten Dämpfer mehr oder weniger gemildert werden, was dagegen bei den Blas-Instrumenten nicht zu geschehen braucht, um die gewünschten Musiktöne zu erhalten.

Bei einer größern freihängenden Glocke tritt der aus der indirekten Schallerregung hervorgehende Ton in ungewöhnlich hohem Grade hervor, wogegen derselbe beinahe bis zur Unmerklichkeit

verschwindet, wenn dieselbe Glocke mit ihrem untern Rande auf eine ganz ebene Platte gesetzt wird.

Wie in allen Fällen bei gleichbleibender Erregungskraft, mit der Reduktion des Volumens einer Schallquelle wegen der damit verbundenen Vermehrung der Schwingungszahl der Schallquellentheile und der daraus gleichzeitig resultirenden Steigerung der indirekten Schallerregung eine Erhöhung des Schalles oder Tones eintreten muß, so muß in diesem Falle auch bei den Orgelpfeifen eine solche Tonveränderung eintreten, und zwar unter Umständen auch in dem Verhältniß, in welchem die Länge einer und derselben Pfeife vermindert wird.

Es muß sonach, unter sonst ganz gleichen Umständen, eine halb so lange Pfeife einen doppelt so hohen Ton geben.

Eine oben geschlossene Pfeife hat denselben Grundton, wie eine offene Pfeife von doppelter Länge.

In diesem Falle ersetzt also die auf dem obern Ende der Pfeife ruhende verlängerte Luftsäule den durch die Deckung der Pfeife bewirkten Druck auf die Grundfläche derselben. Im Uebrigen sind die Bedingungen der Ton-Erhöhung oder Ton-Vertiefung in den Orgelpfeifen bei den offenen und geschlossenen Röhren ganz die gleichen. Hiernach müssen zwei Orgelpfeifen, welche aus dem vollkommen gleichen Material und durchweg nach ganz gleichen Dimensionen hergestellt sind, auch ohne Weiteres ganz gleich tönen, wenn die Schallerregung unter sonst ganz gleichen Umständen stattfindet.

Es muß deßwegen auch, so weit die Ungleichheit des Materials nicht hinderlich entgegen tritt, möglich sein, zwei oder mehrere Orgelpfeifen herzustellen, die ohne weitere Versuche und Nachhülfe vollkommen gleich tönen.

Ist dieses möglich, so müssen auch Orgelpfeifen hergestellt werden können, von denen jede einzelne, den bestimmten ihr zugedachten Ton gibt.

Diese Möglichkeit soll sich aus den Resultaten der folgenden weitern Betrachtungen der hierbei maßgebenden Verhältnisse ergeben.

Das Rohr, der Mund und die Fußmündung sind die drei Hauptbestandtheile einer Orgelpfeife, welche ihr Tönen im Allgemeinen ermöglichen, und zwar so oft und so lange als die Einströmung der jeweils nöthigen Luftmasse durch die Fußmündung stattfindet. Dagegen ist aber die Höhe und Tiefe der Orgelpfeifen-Töne außer den drei oben bezeichneten Faktoren noch abhängig:

a. von der Länge der Pfeifenröhren;
b. von der Luftmasse, welche durch stärkeres oder schwächeres Einblasen von Luft während einer bestimmten Zeit in die Fußmündung getrieben wird;
c. von der Lichtweite der Fußmündung;
d. von der Mundbreite;
e. von der Weite der Mundöffnung;
f. von der stärkern oder schwächern Wanddicke;
g. von der Größe des Quadratinhaltes der Lichtweite oder des Querdurchschnittes der Röhre;
h. von der Beschaffenheit des zu den Rohrwänden verwendeten Materials.

Davon, daß alle diese, die höhern und tiefern Töne der Orgelpfeifen bedingenden Faktoren im strengsten Zusammenhange stehen, und daher stets ein anderer, als der, der jeweiligen Länge des Rohres entsprechender Ton entstehen muß, so oft und so weit das normale Verhältniß der eben bezeichneten Faktoren nicht hergestellt ist, oder gestört wird, überzeugt uns ein etwas näheres Eingehen auf den Einfluß, welcher jedem jener Faktoren bei der Schallerregung mit Orgelpfeifen zukommt.

a. Tönen nach dem Verhältniß der Pfeifenlänge.

Hierüber haben wir schon das Erforderliche vorgetragen, und wenn diejenigen Fälle, in welchen Röhren von unverhältnißmäßiger Länge zu ihrem Querdurchschnitte eine Ausnahme von der Regel machen, hier nicht einer besondern Erörterung unterstellt werden, so hat dieses seinen ausreichenden Grund darin, daß sich das

hiewegen Erforderliche aus der Betrachtung des Einflusses der weitern bezüglichen Faktoren ergeben wird.

b. Tönen nach der Luftmasse, welche durch stärkeres oder schwächeres Einblasen von Luft in die Fußmündung bewirkt wird.

Bei der Orgelpfeife ist, wie bereits gezeigt wurde, die Reibung der in einer gewissen Zeit durch ihre Fußöffnung einströmenden Luftmasse an der obern Lippe des Pfeifenmundes der mechanische Akt der direkten Schallerzeugung, und muß deßwegen auch der mit diesem Instrumente jeweils erzeugte Ton in dem Verhältniß ein anderer sein, in welchem jenes Bewegungsmoment ein größeres oder kleineres ist, also durch ein stärkeres oder schwächeres Blasen in einer bestimmten Zeit mehr oder weniger Luft durch die gleiche Mundspalte getrieben wird.

Jede Verstärkung des mechanischen Schallerregungs-Aktes drückt sich dabei in allen Fällen dadurch aus, daß dieselbe nicht blos eine Vermehrung des auf direktem Wege erzeugten Schalles, sondern auch eine Erhöhung des aus der indirekten Schallerzeugung hervorgehenden Tones zur Folge hat, indem die Schwingungszahl der Röhrenmassentheilchen in dem Verhältniß eine größere sein muß, in welchem die tonerregende Kraft unter sonst gleichen Umständen vermehrt wird.

c. Tönen nach der Verschiedenheit der Lichtweite der Fußmündung.

Je größer die Fußmündung einer Orgelpfeife ist, desto mehr Luft strömt, unter sonst gleichen Umständen, in einer gewissen Zeit durch die Mundspalte, und muß daher der so vermehrte mechanische Schallerregungs-Akt ganz die unter b näher bezeichnete Tonveränderung zur Folge haben.

Es kann deßwegen auch keinem Zweifel unterliegen, daß unter sonst gleichen Umständen zwei gleiche, hinsichtlich ihrer Fuß-Lichtweite aber verschiedene Pfeifen auch nur verschiedene Töne geben können, und daß es deßwegen beim Orgelbau sehr zweckdienlich erscheinen muß, dem richtigen Verhältniß zwischen der Fußlichtweite und den übrigen Dimensionen der Pfeifen große Aufmerksamkeit zuzuwenden.

d. Tönen nach der Mundbreite.

Da das Tönen der Orgelpfeifen durch die Pressung und Reibung der aus der Windspalte strömenden Luft an der Oberlippe erzeugt wird, so muß natürlich der daraus hervorgehende Ton bei einer und derselben Orgelpfeife in dem Verhältniß ein veränderter sein, in welchem unter sonst gleichen Umständen die Mundbreite eine größere oder kleinere ist.

In dieser Beziehung ist Seite 64 des Handbuches der Physik von Dr. W. S. A. Zimmermann vom Jahr 1857 gesagt:

„Das Gesetz spricht einfach aus, es hängt die Höhe des „Tones von der Länge der Pfeife ab, eine halb so lange „Pfeife gibt einen doppelt so hohen Ton, die übrigen Ver„hältnisse sind gleichgültig. Es ist dies durchaus falsch, „es kommt auch noch auf die Tiefe der Pfeife und die Breite „des Labiums an."

„Betrachten wir uns noch einmal die hier wiederholte „Figur, so sollten, weil sie gleiche Länge haben, die drei „Pfeifen a, b und c einen Ton von ganz gleicher Höhe „geben, vielleicht wird die Färbung, die Kraft eine andere „sein, die Höhe muß der Theorie nach in allen gleich langen „Pfeifen gleich sein; dies findet auch statt bei den beiden „gleich dicken a und b, obwohl sie sehr verschieden an Breite „sind, nicht so ist es mit b und c, obschon sie gleich lang „und gleich breit sind. Hier gibt die weniger dicke Pfeife „c einen viel höhern Ton."

Der Grund dieses Unterschiedes liegt theils darin, daß, während der das Tönen der beiden Pfeifen bewirkende mechanische Akt ganz derselbe bleibt, die Röhrenmasse der Pfeife c wegen der Verminderung der Röhrendicke eine schnellere Vibration erleidet und damit eine Tonerhöhung bewirkt, und theils in dem Umstande, daß, weil mit der Schwächung der Dicke der Pfeife c auch deren Luftsäule verkleinert wird, diese durch die aus der Windspalte hervortretende Luftmasse eine verhältnißmäßig stärkere und gleichmäßigere Pressung und Verdichtung erleiden, und in Folge dessen auch im Stande sein muß, der obern Mundlippe eine vermehrte Luftmasse zuzuweisen.

e. Tönen nach dem Verhältniß der Mundöffnung oder des Abstandes des obern Labiums von der Spalte.

„Eben von so großem, oder vielmehr von noch größerem „Einfluß auf die Höhe des Tones ist die Entfernung des „obern Labiums von der Spalte; der Raum läßt sich theo„retisch gar nicht bestimmen, im Gegentheil sollte nach dem „an sich einfachen Gesetze longitudinal schwingender Körper „dies ganz gleichgültig sein, wenn nur Wind genug da ist, „damit die Pfeife überhaupt anspricht; es ist aber keineswegs „so, die richtige Entfernung des obern Labiums von der „Windspalte muß durch Versuche gefunden werden, ist diese „Entfernung zu gering, so hat man beim Anblasen „statt des Grundtones, die Terz oder gar die Quint."
(Seite 65 der Physik von Dr. W. F. Zimmermann, II. Band vom Jahr 1857.)

Wird das obere Labium zu weit von der Windspalte angebracht, so muß der aus dieser hervortretende Luftstrom auf dem dadurch verlängerten Wege nicht nur einer größeren Vertheilung unterliegen, sondern auch an der in dem Fuße des Rohrs erlangten Spannkraft verlieren, somit an dem obern Labium mit einer geringeren Wirksamkeit ankommen.

Da aber diese Wirksamkeit der schallerregenden Kraft bis zu einem gewissen Punkte, in dem Verhältniß zunehmen muß, in welchem jener Abstand verkürzt wird, so muß aus den schon oben entwickelten Gründen der erzeugte Ton ein anderer sein, als der den übrigen Dimensionen der Pfeife entsprechende, und zwar in dem eben bezeichneten Falle ein höherer, weil hier eine Verstärkung der indirekten Schallerregung eintreten muß.

Dieser Mißstand kann aber nicht eintreten, wenn an einer Pfeife mit durchaus normalen Dimensionen, auch der Abstand der obern Lippe von der Windspalte in das richtige Verhältniß gesetzt wird.

f. Tönen nach der stärkern oder schwächern Wanddicke der Pfeifenröhren.

Es ist klar, daß mit einer bestimmten Kraft ein dünnerer Körper in höherem Grade erschüttert werden kann, als ein dickerer von sonst gleicher Beschaffenheit.

Die so in einem Körper erhöhte Vibration kann sich natürlich nur wieder in den das Tönen bedingenden Faktoren ausdrücken, und zwar in der Weise, daß selbst bei gleicher Schwingungsweite eine Vermehrung der Schwingungszahl eintritt, und diese eine verhältnißmäßige Steigerung der indirekten Tonerregung bewirkt, wie auch die Erfahrung bestätigt, indem z. B. allzu dünne Orgelpfeifen einen schreienden Schall erzeugen und Flöten, an welchen das Holz zu dick ist, dumpf und klanglos tönen.

g. Tönen nach der Größe des Licht-Querdurchschnittes des Pfeifen-Rohrs.

Je größer der Licht-Querdurchschnitt des Pfeifenrohres ist, desto mehr muß von dem aus der Windspalte hervortretenden Luftstrom zur Pressung und Spannung der in der Röhre befindlichen Luftsäule verwendet werden, und zwar nicht nur vorübergehend, sondern nachhaltig.

Diese so verwendete Kraft geht aber natürlich für die Schallerregung verloren, und muß deßwegen der dabei resultirende Ton unter sonst gleichen Umständen ein um so tieferer sein, je größer der einer bestimmten Röhre gegebene Licht-Querdurchschnitt ist.

h. Tönen nach Maaßgabe des zu den Röhrenwänden verwendeten Materials.

In sofern das zu den Röhren verwendete Material nur steif genug ist, geben die betreffenden Röhren, unter sonst gleichen Umständen, hinsichtlich der Höhe und Tiefe die gleichen Töne, und bedingt dabei das angewendete Material nur einen verschiedenen Klang, welche Verschiedenheit jedoch nicht von den Dimensionen, sondern von dem Grade abhängig ist, in welchem die betreffenden Körper durch das Maaß ihrer Festigkeit befähigt sind, durch ihre vibrirenden Bewegungen die äußere und innere Luft zum Ausscheiden ihres Aethergehaltes zu zwingen.

Hieraus läßt sich auch erklären, warum die tönende Schwingung eines Orgelpfeifen-Rohrs zum Theil aufhört, wenn man das ganze Blasinstrument mit einer weichen Masse überzieht.

§ 21.

Interferenz im Gebiete der Akustik.

Nach dem, was wir Seite 25 der gegenwärtigen Schrift aus der Akustik von R. Radau angeführt haben, besteht u. a. auch ein feindschaftliches Verhalten der Töne, welches bei der Erörterung der sich im Gebiete der Akustik bemerkbar machenden Interferenz-Erscheinungen besondere Beachtung verdient.

Bei einer nähern Betrachtung der Ansicht, welche dort über das Verhalten der Töne während ihrer Verbreitung ausgesprochen ist, kommt zunächst in Betracht zu ziehen, daß, wenn dieselben wirklich so entschiedene Raufbolde wären, viele von ihnen auf dem

Wege von ihren Ursprungspunkten bis zu unserem Gehörsinne theils ihren gegenseitigen Schlägen unterliegen müßten und theils nur in einem mehr oder weniger beschädigten, also theilweise auch in einem bis zur Unkenntlichkeit verändertem Zustande bei unserem Gehörorgan ankommen könnten.

Da uns jedoch die Erfahrung einerseits zeigt, daß eine große Zahl sehr verschiedener und gleichzeitig hervortretender Töne eben so unverändert zu unserem Gehör gelangen kann, als sie bei diesem ankommen, wenn jeder derselben einzeln und nach kürzern oder längern Zeitabschnitten erregt wird, anderseits aber eben so unzweifelhaft nachweist, daß diejenigen Erscheinungen, welche man Interferenz nennt, sich im Bereiche der Akustik wirklich in verschiedenem Grade bemerkbar machen, so müßen wir uns veranlaßt sehen, hier näher zu untersuchen: ob denn die oben angedeuteten akustischen Raufereien wirklich den einmal geschaffenen Tönen, oder aber den behufs der Schallerregung in Thätigkeit gesetzten Körpern, also den Schallerregern selbst zur Last zu legen sind.

Wenn zwei, in jeder Hinsicht vollkommen gleiche Metallstäbe an ihren untern Enden so befestigt werden, daß ihre breiten Seiten unmittelbar aneinander zu liegen kommen, und man bringt nachher diese Stäbe durch irgend ein Mittel in der Weise in schwingende Bewegung, daß sie mit ihren breiten Seiten fortan genau gleichzeitig nach links und nach rechts schwingen müssen, so muß, weil in diesem Falle ein sich gegenseitig hemmendes Begegnen der Massentheile der schwingenden Stabstücke unmöglich ist, jene Bewegung der Stäbe so lange fortdauern, als die sie erzeugende Kraft und ihr Beharrungsvermögen wirksam bleibt.

Haben diese Stäbe eine Länge, welche die Erzeugung tönender Schwingungen gestattet, und es wird dabei ebenfalls so verfahren, daß eine genaue gleichzeitige Bewegung der Stäbe nach links und nach rechts stattfinden muß, somit auch in diesem Falle ein Begegnen der schwingenden Stab-Theile unmöglich gemacht ist, so muß auch das so herbeigeführte Tönen so lange fortdauern, als die behufs ihrer Erzeugung in Wirksamkeit gesetzte Kraft ganz gleichmäßig thätig bleibt.

Wenn, wie hier vorausgesetzt wurde, nicht blos eine fortdauernde Wirksamkeit der die tönenden Schwingungen erzeugenden Kräfte, sondern auch eine vollkommen gleiche Thätigkeit dieser Kräfte stattfindet, so können auch, weil ja das Hervortreten der Töne selbst ganz auf der gleichen Ursache beruht, dieselben auf dem Wege von ihren Ursprungspunkten bis zu unserem Gehörorgan keinerlei Veränderungen unterliegen, so lange jene Bedingungen erfüllt und alle sonstigen Umstände ganz dieselben bleiben.

Indessen findet dieses gleichmäßige Tönen der Metallstäbe auch dann unverändert statt, wenn dieselben mit ihren obern Enden zwar gleichzeitig gegeneinander schwingen, aber so weit von einander befestigt sind, daß ihre schwingenden Theile sich dabei nicht berühren können.

Aber selbst während dem allmähligen Näherrücken der Stäbe dauert deren Tönen so lange ununterbrochen fort, als sämmtliche, dasselbe bedingende Umstände sorgfältig erhalten werden.

Ist jedoch diese Annäherung der gegeneinander schwingenden Stäbe endlich soweit vorgerückt, daß ihre am weitesten schwingenden Endtheile bei jeder Bewegung sich berühren können, so verschwinden jene den Stäben eigenthümliche Töne, und hört man statt diesen nur noch einige kurze Schläge, welchem alsbald totale Stille und Ruhe unmittelbar folgt.

Von diesem bescheidenen Verhalten der aus den Körperschwingungen resultirenden Töne gegenüber dem raufsüchtigen Benehmen der vibrirenden Körpertheile kann man sich übrigens auch dadurch auf kürzestem Wege überzeugen, daß man zwei angeschlagene, also tönende Stimmgabeln nach und nach näher und endlich so nahe gegeneinander rückt, daß die Endtheile ihrer schwingenden Zinken sich berühren, weil auch hier das gleichmäßige Tönen während einer gewissen Zeit so lange ununterbrochen fortdauert, als jene Berührung nicht stattfindet, dagegen aber auch in diesem Falle eine totale Stille und Ruhe sofort eintritt, sobald die Schwingungsschläge der tonerregenden Körper sich gegenseitig treffen.

Die ganz gleiche Erscheinung bieten zwei Glocken, die man während ihrem, aus der indirekten Schallerregung resultirenden Tönen in bleibende Berührung bringt, u. s. w.

Diese und viele ähnliche hieher bezüglichen Experimente liefern den Beweis, daß die im Gebiete der Akustik u. a. in der Form grober Raufsucht hervortretende Interferenz nicht der von ihren Geburtsstädten stets bescheiden und ohne gegenseitige Störung absließenden Tönen, sondern allein nur den gegenseitigen Schlägen zur Last fallen, welche die schwingenden Massentheilchen der Tonerreger bei ihrer Berührung sich gegenseitig austheilen.

Es ist jedoch nicht nothwendig, daß, um ein Verstummen der Töne auf diesem Wege zu bewirken, zwei oder mehrere schwingende Theile fester Körper gegeneinander geschlagen werden, indem bekanntlich ganz dasselbe Verhältniß eintritt, wenn man einen in tönende Schwingung versetzten Körper mit einem ruhenden festen Körper in unmittelbare Berührung bringt, wie dieß z. B. schon der Fall ist, wenn man nur einen der Zinken einer tönenden Stimmgabel mit einem festen Körper auf kurze Zeit in unmittelbare Berührung bringt. Hiernach können also vibrirende Körper, deren Theile entgegengesetzte Schwingungen vollziehen, und dabei aufeinander stoßen, sich gegenseitig zu einem schnellen Uebergange aus dem Zustande der Bewegung in jenen der Ruhe zwingen, und damit auch ihr bis dahin stattgefundenes Tönen vernichten.

Hieher bezüglich ist Seite 322 der acht Vorlesungen von Tyndall gesagt:

„Wir haben hiermit die allgemeine Wahrheit ausreichend „erläutert, daß zwei vibrirende Körper, wovon jeder ein„zelne einen musikalischen Ton hervorzubringen vermag, „diesen gegenseitig vernichten können, wenn sie gleichzeitig „wirken," (und, fügen wir hinzu: ihre schwingenden Theile sich dabei treffen.)

„Hieraus folgt, daß wenn zwei vibrirende Körper sich „neutralisiren, wir die Tonwirkung des einen dadurch zum „Vorschein bringen können, daß wir die des andern unter„drücken," (oder vielmehr dessen Thätigwerden verhindern, oder wenigstens auf ein gewisses Maaß beschränken.)

So wenig hiernach zwei entgegengesetzt vibrirende Körper nach dem Aneinanderstoßen ihrer schwingenden Theile noch länger im Zustande der Bewegung beharren können, ebenso wenig kann es zwei gleich starken und in gegengesetzter Richtung auf einen ruhenden Körper wirkenden Kräften möglich sein, diesen in den Zustand der Bewegung zu versetzen.

Auf Grund dieser Verhältnisse läßt sich nachweisen, daß auch diejenigen Erscheinungen, welche aus der Anwendung der bekannten Interferenz-Apparate resultiren, nicht auf einer gegenseitigen Verstärkung oder Schwächung der einmal erzeugten Töne, sondern blos auf einem Zusammenstoßen der nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Theile vibrirender Körper, beziehungsweise auf dem Verhältniß beruhen, in welchem die zum Zwecke der Hervorbringung einer schwingenden Bewegung in Thätigkeit gesetzten Kräfte sich aufzuheben vermögen, und dürfte es genügen, zu diesem Zwecke hier einige der dahin bezüglichen Fälle folgen zu lassen.

„Nimmt man z. B. zwei geschlossene Orgelpfeifen, die „genau unisono sind, und setzt dieselben nebeneinander auf „einen Windkasten, so bemerkt man, daß sie zusammen weit „weniger Ton geben, als eine allein. Beide zusammen „klingen ganz schwach, obgleich ihre Luftsäulen kräftig „schwingen, wie man an einer darüber gehaltenen Flaum„feder sehen kann. Der Grund der Erscheinung liegt darin, „daß die Schwingungen im Gegensatze stehen, während „der Luftstrom in die erste Pfeife dringt, und die innere „Säule comprimirt, fährt er aus der zweiten heraus, und „bringt in dieser eine Verdünnung hervor; so wechselt der „Zustand fortwährend, und die umgebende Luft erfährt „gleichzeitig Compressionen und Dilatationen, die sich neu„tralisiren."

(R. Radau, Seite 288.)

Wenn zwei geschlossene Orgelpfeifen nahe neben einander auf einen Windkasten gesetzt werden, und die in diesem befindliche Luft durch Comprimirung zum Eindringen in die Pfeifenröhren gezwungen wird, so kann doch offenbar die Dichtigkeit der Luft

und deren Bewegung in beiden Röhren zur selben Zeit nur eine ganz gleiche, und es deßwegen auch nicht möglich sein, daß dieselbe in dem Augenblicke, in welchem sie in die eine Röhre einströmt, aus der andern abströmt.

Es kann deßwegen auch die eben angeführte Erklärung über die auffallende Schwächung, welche der einer gewissen Orgelpfeife eigenthümliche Ton dadurch erleidet, daß man eine ganz gleiche Pfeife dicht neben dieselbe auf den Windkasten setzt, in keiner Weise als eine zutreffende anerkannt werden.

Der Grund jener Erscheinung liegt darin, daß, wenn zwei ganz gleiche Orgelpfeifen unmittelbar oder wenigstens sehr nahe nebeneinander auf den Windkasten gesetzt und zum Tönen veranlaßt werden, die einander gegenüber stehenden Seitenwandtheile sich schon während der Vollbringung ihrer ersten Schwingungen unmittelbar oder mittelbar durch die zwischen derselben befindliche Luftmasse begegnen und in Folge dessen nicht nur die einander gegenüber stehenden Wände weitere tönende Schwingungen nicht ferner in ausgedehnterem Maaße vollziehen können, sondern diese gegenseitige Hemmung der angestrebten Bewegung, insbesondere bei vierkantigen Röhren, auch auf die übrigen Seitenwände derselben in verschiedenem Grade übergeht.

„Aus diesem Grunde gereicht es bei einer Orgel nicht „zum Vortheil, wenn man mehrere Pfeifen von derselben „Tonhöhe dicht neben einander anbringt.“ (Tyndall, 318.)

Bekanntlich kann ein breiter, an dem einen Ende befestigter Metallstab a dadurch in tönende Vibration versetzt werden, daß man dessen oberes Ende nach der einen oder andern seiner breiten Seiten hin weit abzieht und nachher schnell losläßt.

Derselbe Stab widersteht jedoch einem solchen Abziehen nach der einen oder andern seiner schmalen Seiten hin in so hohem Grade, daß es nicht möglich ist, denselben auf diesem Wege zu tönenden Schwingungen nach jener Seite hin zu veranlassen.

Es muß daher ganz natürlich erscheinen, daß, wenn längs der schmalen Seite dieses Stabes a ein ganz gleich beschaffener Stab b rechtwinklig befestigt wird, der erstere bei sonst gleicher Behandlung nur mehr viel schwächere Schwingungen vollziehen,

und in Folge dessen auch keine Töne mehr erzeugen kann, und daß das in dieser Weise schon geschwächte Zittern des Stabes a in noch höherem Grade abnehmen muß, wenn durch die Anfügung weiterer zwei Wände c und d aus dem frühern einfachen Stabe in dieser Weise nach und nach eine Metallröhre hergestellt wird.

Eine von Holz oder irgend einem andern Material so hergestellte Röhre zeigt hinsichtlich der Abnahme der Vibration dieselben Erscheinungen, wenn man die, die Vibration erzeugende Kraft so wirken läßt, daß die Seiten der Röhre gegeneinander schwingen müssen.

Also auch hiernach sind es nicht die Schallwellen, welche in solchen und ähnlichen Fällen durch ihr direktes Begegnen das Tönen einer Schallquelle verhindern, sondern die Massentheile der sonst zur Schallerregung geeigneter Körper, indem dieselben bei ihrer Berührung durch gegenseitiges Aneinanderstoßen das Eintreten von Schwingungen verhindern, beziehungsweise schon eingetretene Schwingungen schwächen oder gar aufheben.

„Sehr interessante Interferenz-Erscheinungen hat Seebek mit „Hülfe einer von ihm angegebenen, höchst einfachen Construk„tion der Syrene, welche zu sehr vielen akustischen Versuchen „anwendbar ist, hervorgebracht.“*

„Man richte gegen eine Löcherreihe dieser Syrene zwei „Röhren von den beiden entgegengesetzten Seiten her senk„recht gegen die Scheibe, und zwar so, daß, wenn die eine „Röhre sich vor einem Loche befindet, die andere Röhre „gleichzeitig einem andern, etwa dem nächsten Loche gegen„übersteht. Bläst man nun durch eine Röhre gegen die in „Umdrehung befindliche Scheibe, so hört man einen Ton; „derselbe Ton wird wahrgenommen, wenn man durch die „andere Röhre bläst; sobald aber beide Röhren gleichzeitig „angeblasen werden, verschwindet der Ton, und man hört „nur ein Sausen.“

*) Die nun in dem betreffenden Werke zunächst folgende bekannte Beschreibung des Apparats können wir hier ganz füglich übergehen.

„Wenn das Resultat dieses Versuches recht „deutlich sein soll, so müssen die Luftströme bei- „der Röhren vollkommen gleich stark sein, sie „müssen aus einer Windlade kommen. Diese Er- „scheinung erklärt sich dadurch, daß die beiden gleichzeitigen „Luftstöße ihrer entgegengesetzten Richtung wegen sich zwar „nicht am Orte ihrer Entstehung, wohl aber bei ihrer Fort- „pflanzung und im Ohre des Beobachters sich gegenseitig „aufheben.“ (Seite 317 des Lehrbuches der Physik von Joh. Müller 1844.)

Wäre diese Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung richtig, so müßte sich das Ohr des Beobachters jedesmal in einer gewissen Entfernung von der Scheibe, also auf dem Punkte befinden, auf welchem sich die gegenseitigen Luftstöße aufheben, um das Verschwinden des Tones beobachten zu können. Da dieses aber durchaus nicht der Fall ist, indem das Verschwinden eines solchen Tones auch in kleinern oder größern Abständen von der Scheibe in gleicher Weise wahrgenommen werden kann, so kann auch jene oben angeführte Erklärung als eine zutreffende nicht angesehen werden.

Gegenüber der oben näher betrachteten Erscheinung, welche zwei auf einem Windkasten nahe neben einander gestellte gleiche Orgelpfeifen darbieten, tritt bei dem so eben bezeichneten Experiment in sofern ein anderes Verhältniß ein, als dort, nämlich bei den Orgelpfeifen die schwingenden Theile der Tonerreger sich bei ihrer unmittelbaren oder mittelbaren Berührung durch gegenseitige Stöße in ihren schwingenden Bewegungen mehr oder weniger schwächen, und damit ein verhältnißmäßiges Tönen unmöglich machen, dagegen hier, also bei der Scheibe, die behufs der Hervorbringung tönender Schwingungen in Anwendung kommenden Kräfte, nämlich die Luftströmungen sich gegenseitig aufheben, und damit nicht nur ihre Reibung an den Rändern der Scheibenlöcher, sondern auch die Erzeugung von Scheiben-Schwingungen unthunlich, und in Folge dessen auch die Hervorbringung eines entsprechenden Schalls sowohl auf direktem als auf indirektem Wege unmöglich machen.

Hieher bezüglich ist u. A. auf Seite 183 der Physik von Eisenlohr vom Jahre 1863 Folgendes gesagt:

„Wenn zwei Luftwellen, welche von verschiedenen Punkten „ausgehen, sich begegnen, so können sie entweder gerade „entgegengesetzt sein, oder sich unter irgend einem Winkel „durchschneiden. Die Wirkung auf irgend einen ruhenden „Punkt hängt dann ab von der Richtung und Geschwindig„keit der Schwingung derjenigen Lufttheilchen, welche ihn „treffen. Ist diese gerade entgegengesetzt und gleich, so wird „die Gesammtwirkung Null."

Somit kann auch hiernach der Grund der Schwächung oder Verstärkung der Töne, beziehungsweise deren Verschwinden nicht in dem gegenseitigen Verhalten der Schallwellen, sondern nur in dem der Tonerreger und den diese in Thätigkeit setzenden Kräfte gesucht und gefunden werden.

Bei den Experimenten mit den bekannten Gabel- und Scheiben-Röhren sind es die in diesen Röhren stattfindenden Luftströmungen, welche ein stärkeres oder schwächeres Erzittern der Membrane oder ein stärkeres oder schwächeres Tönen erzeugen, indem dieselben durch ihre Bewegungen in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung sich entweder verstärken oder schwächen.

„Sie werden die beinahe vollständige Tonlosigkeit der „Stimmgabel bemerkt haben, wenn eine solche in freier „Hand gehalten wird. Diese Tonschwäche der Gabel rührt „zum großen Theil von Interferenz her. Die Zinken „vibriren immer in entgegengesetzter Richtung, wobei die eine „da eine Verdichtung erzeugt, wo bei der andern eine Ver„dünnung der Luft stattfindet, so daß eine Vernichtung des „Tones erfolgt."

„Indem ich einfach eine Papproͤhre über die eine Zinke „halte, so daß ihre Schwingungen theilweise aufgefangen „werden, bringe ich eine Verstärkung des Tones hervor. „Eine einzige Zinke erweist sich also wirksamer als beide „zusammen." (Tyndall, Seite 325.)

Der Grund des stärkern Tönens der einen Stimmgabelzinke, wenn die andere in eine Papproͤhre geschoben wird, beruht jedoch

nicht in einem Auffangen der Schallwellen des abgeschlossenen Zinkens, sondern allein nur in der Verstärkung des Tones durch das gewöhnliche Mittönen, welches hier dadurch bewirkt wird, daß die Vibration der Stimmgabelzinke die seitlich eingeschlossene Luftsäule und diese die Wände der Pappröhre in schwingende Bewegung versetzt, und aus diesen schließlich eine indirekte Schallerregung resultirt.

Daß die Verstärkung des Tones in dem in Rede stehenden Falle und in sehr vielen ähnlichen Fällen allein auf dem gewöhnlichen Mittönen beruht, beweist u. a. auch folgendes Experiment:

„Ein sehr einfaches Mittel um die Schwingungszahl „jedes Tones zu bestimmen, ist das verbesserte Diaspason „von Marloye, Fig. 246, in Verbindung mit dem Mono„chord. Es besteht in zwei Stimmgabeln, die genau 256 „Schwingungen in einer Sekunde machen, und auf hohle „Kästchen von dünnem Holz festgeschraubt sind."

„Die auf einer Seite offenen Enden dieser Kästchen stehen „einander gegenüber in ein Zoll Abstand. Der Raum vom „Anfange des einen bis zum Ende des andern Kästchens ist „eine halbe Wellenlänge, oder zwei pariser Fuß. Beide „ruhen auf einer dicken Lage Fließpapier.

„Streicht man die eine Stimmgabel an, so tönt die an„dere sehr laut mit, und der Ton von beiden bleibt mehrere „Minuten lang hörbar, während er sich bei Anwendung „von nur einem Kästchen viel früher verliert." (Eisenlohr, Seite 201, 1863.)

Offenbar bringt hier, wie in vielen ähnlichen Fällen, die durch das Anstreichen in schwingende Bewegung gesetzte Stimmgabel ihr Kästchen, dieses die zwischen beiden Kästchen befindliche Luft, diese das zweite Kästchen, und dieses endlich die auf ihm stehende Stimmgabel in den Zustand der Vibration.

Das Experiment, bei welchem mit einem geharzten Bogen der Rand einer Glocke gestrichen, und dieser gleichzeitig die Oeff-

nung eines weiten Rohrs genähert wird, um dieses zum Mittönen zu veranlassen, beruht ebenfalls auf der Uebertragung der Schwingungen eines festen Körpers auf die Luft und von dieser auf einen andern festen Körper.

§ 22.

Erklärung der Gründe des allmähligen Uebergangs zweier Töne aus dem Einklange in weniger harmonische Töne nach Maaßgabe gewisser Schwingungs-Verhältnisse.

Läßt man eine gespannte Saite frei hin und her schwingen, so ist die Geschwindigkeit ihrer Bewegung bei jedem Hin- und Hergange am größten, wenn sie in der Mitte ihrer Amplitude angekommen ist.

Da es nach dem Vorausgegangenen möglich sein muß, die Luft auch durch Saitenschwingungen zum Ausscheiden eines Theils ihres Aether-Gehaltes zu zwingen, und diese Ausscheidung unter sonst gleichen Umständen in dem Verhältniß eine größere sein muß, in welchem eine Saite ihre Schwingungen schneller vollzieht, also in einer gewissen Zeit eine größere Luftmasse preßt und reibt, und da ferner nach dem im Eingange dieses Paragraphen Gesagten, die Schwingungsgeschwindigkeit einer tönenden Saite während dem Ueberschreiten des Gebietes ihrer Amplituden-Mitte eine beachtungswerth größere ist, als während ihrer Bewegung auf den beiden Saiten ihrer Amplituden-Mitte, so müssen nothwendig auch die aus jeder halben Schwingung einer Saite hervorgehenden Töne hinsichtlich ihrer Stärke verschieden sein, und zwar in der Weise, daß die aus den Schwingungen im Bereiche der Amplituden-Mitte resultirenden Töne diejenigen an Stärke übertreffen, welche durch die Saiten-Bewegungen im Raume der beiden Seitentheile der Amplitude erzeugt werden.

Es versteht sich jedoch von selbst, daß, weil hiebei die langsameren und schnelleren Bewegungen nur allmählig in einander

übergehen, auch die aus denselben resultirenden Töne ebenfalls nur nach und nach stärker und wieder schwächer werden können.

Schon hienach können die aus den Saitenschwingungen und aus den Schwingungen der Schallquellen überhaupt hervorgehenden Töne von ihren Ursprungsstellen nicht in gleicher Stärke abfließen, sondern es müssen dieselben in der Regel abwechslungsweise als schwächere und stärkere Anregungen zu dem Ohr des Beobachters gelangen. Wenn aber eine mit ungleicher Geschwindigkeit über ihre Amplitude schwingende Saite eine Zu- und Abnahme in der Stärke ihrer Töne dennoch nicht immer in dem Maaße erkennen läßt, in welchem sich dieselbe am Anfange und am Ende ihrer Amplitude langsamer bewegt, als in deren Mitte, so hat dieses seinen Grund theils in dem sanften Uebergange schwingender Saiten aus ihrer langsamern Bewegung in die schnellere und aus dieser in die langsamere, und theils in dem sich stets bemerkbar machenden Uebergewicht der stärkern Töne über die schwächern, so wie endlich auch in dem Umstande, daß, weil bei ganz gleicher Schwingungsweite das stärkere Tönen einer Saite auf einer schnellern Aufeinanderfolge ihrer halben Schwingungen beruht, und diese Aufeinanderfolge mit zunehmender Schwingungs-Geschwindigkeit unter Umständen einen Grad erreichen kann, welcher die, die Momente der stärkern Schallerregung anfänglich trennenden Zeittheile bis zur Unmerklichkeit verschwinden läßt, und damit bewirkt, daß jene Momente dem Ohr des Beobachters als ein zusammenhängendes Ganzes erscheinen, in welchem weder die ursprünglich schwächern noch die stärkern Töne ferner zu erkennen sind.

Man kann es zwar ganz natürlich finden, daß, wie die Erfahrung zeigt, zwei musikalische Töne in einem vollkommen vereinten Strom dahin fließen und einen vollkommenen Einklang hervorbringen, wenn ihre Schwingungszahlen sich wie 1:1 verhalten, allein nicht so nahe liegen dagegen die Gründe, aus welchen sich erklären läßt, warum auch in dem entgegengesetzten Falle, in welchem nämlich zwei Saiten, die in derselben Zeit eine sehr ungleiche Anzahl von verschiedenen Schwingungen vollbringen, dennoch Töne erzeugen, welche nächst dem vollkommenen Ein-

klange am harmonischsten zusammenfließen, wie dies bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß, wie 1 : 2 der Fall ist. (Tyndall, Seite 345.)

Die Ermittlung der Gründe dieser Erscheinung ist dadurch noch in hohem Grade erschwert, daß das Hervortreten des Einklanges und das harmonische Zusammenfließen zweier Töne auf gewisse Schwingungszahlen-Verhältnisse beschränkt ist, und die Verbindung zweier Töne dem Ohre desto weniger angenehm erscheint, je größer die Zahl ist, welche das Verhältniß ihrer Schwingungen ausdrückt.

Bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 4 : 5 ist bekanntlich die Harmonie schon weniger vollkommen, als bei jenem von 3 : 4 und 2 : 3.

„Beim Verhältniß von 5 : 6 oder dem der kleinen Terze „ist der Einklang gewöhnlich noch unvollkommener, und wir „nähern uns jetzt einer Grenze, jenseits welcher ein musi„kalisches Ohr keine Tonverbindung mehr ertragen wird.

„Hier sind z. B. zwei Stimmgabeln, deren Schwingungs„Verhältniß wie 13 : 14 ist; sie würden die Verbindung „ihrer Töne als durchaus mißlautend bezeichnen." (Tyndall, Seite 346.)

Wenn zwei ungleich schwingende Saiten S und s gleichzeitig in Bewegung gesetzt werden, so muß, so oft die weiter schwingende Saite S in einer bestimmten Zeit eine ganze Schwingung macht, die kürzere Schwingungen vollbringende Saite s je in derselben Zeit eine dem Schwingungszahlen-Verhältniß beider Saiten entsprechende größere Anzahl von Schwingungen vollbringen.

Es muß daher während der Zeit, in welcher die Saite S nur eine Schwingung macht, die Saite s bei dem

Schwingungszahlen-Verhältniß		wie	1 : 2	deren	2,000
"	"	"	2 : 3	"	1,500
"	"	"	3 : 4	"	1,333
"	"	"	4 : 5	"	1,250
"	"	"	5 : 6	"	1,200
"	"	"	6 : 7	"	1,166
"	"	"	7 : 8	"	1,143

Schwingungszahlen-Verhältniß	wie	8 : 9	deren	1,125
"	"	"	9 : 10	"	1,111
"	"	"	10 : 11	"	1,100
"	"	"	11 : 12	"	1,090
"	"	"	12 : 13	"	1,083
"	"	"	13 : 14	"	1,077
"	"	"	14 : 15	"	1,071

vollziehen.

„Die Dauer einer jeden einzelnen Schwingung steht im „umgekehrten Verhältniß mit den Schwingungszahlen."

Hiernach erhält man, wenn die Schwingungsdauer der durchaus größere Schwingungen vollziehenden Saite S = 1 gesetzt wird, bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß

wie	1 : 2	aus der Proportion	1 : 2 = x : 1	die Größe x,	also die Schwingungsdauer	d. Saite s = 0,500
"	2 : 3		1 : 1,5 = x : 1	"		x = 0,666
"	3 : 4		1 : 1,333 = x : 1	"		x = 0,750
"	4 : 5		1 : 1,250 = x : 1	"		x = 0,800
"	5 : 6		1 : 1,200 = x : 1	"		x = 0,833
"	6 : 7		1 : 1,166 = x : 1	"		x = 0,857
"	7 : 8		1 : 1,143 = x : 1	"		x = 0,875
"	8 : 9		1 : 1,125 = x : 1	"		x = 0,888
"	9 : 10		1 : 1,111 = x : 1	"		x = 0,900
"	10 : 11		1 : 1,100 = x : 1	"		x = 0,909
"	11 : 12		1 : 1,090 = x : 1	"		x = 0,917
"	12 : 13		1 : 1,083 = x : 1	"		x = 0,923
"	13 : 14		1 : 1,077 = x : 1	"		x = 0,928
"	14 : 15		1 : 1,071 = x : 1	"		x = 0,933

Da nun die so eben, unter Voraussetzung gewisser Schwingungszahlen-Verhältnisse, für die Dauer der ganzen Schwingungen ermittelten Zahlen-Verhältnisse auch für die halben Schwingungen, also auch für die Schwingungsweiten oder Amplituden ihre volle Gültigkeit haben, und da ferner auch die Weite jeder einzelnen Schwingung oder die Länge jeder einzelnen Amplitude mit der Schwingungszahl im umgekehrten Verhältniß steht, so drücken jene Größen auch das Verhältniß der Weglänge aus, welche jede der

beiden Saiten S und s nach Maaßgabe der verschiedenen Schwingungszahlen-Verhältnisse in einer bestimmten Zeit zurück zu legen hat.

Wenn man, um die das Verhältniß der Amplituden-Längen bezeichnenden Zahlen in bestimmten gleichen Einheiten ausdrücken zu können, sich die Länge der Schwingungsweite der durchaus weiter schwingenden Saite S in 1000 gleiche Einheiten abgetheilt denkt, und mit dieser Einheiten-Zahl jede der oben verzeichneten Verhältniß-Zahlen multiplicirt, so erhält man die nachstehenden, die Längen der Amplituden der beiden Saiten für jedes Schwingungszahlen-Verhältniß ausdrückende Größen, und zwar:

für das Schwingungszahlen-Verhältniß	wie	1:2	= 0,500	×	1000	=	500
" "	"	2:3	= 0,666	×	1000	=	666
" "	"	3:4	= 0,750	×	1000	=	750
" "	"	4:5	= 0,800	×	1000	=	800
" "	"	5:6	= 0,833	×	1000	=	833
" "	"	6:7	= 0,857	×	1000	=	857
" "	"	7:8	= 0,875	×	1000	=	875
" "	"	8:9	= 0,888	×	1000	=	888
" "	"	9:10	= 0,900	×	1000	=	900
" "	"	10:11	= 0,909	×	1000	=	909
" "	"	11:12	= 0,917	×	1000	=	917
" "	"	12:13	= 0,923	×	1000	=	923
" "	"	13:14	= 0,928	×	1000	=	928
" "	"	14:15	= 0,933	×	1000	=	933

Da die Theile t und T, welche zwei ungleich weit schwingende Saiten S und s auf ihren Amplituden-Linien in einer bestimmten Zeit durchlaufen, mit den das Schwingungsverhältniß dieser Saiten ausdrückenden Zahlen v und w im geraden Verhältniß stehen, somit sich, wenn t den kleinern jener Theile, und v die geringere Schwingungszahl ausdrückt sich v : w = t : T verhält, so kann, nach jeweils vorausgegangener Feststellung des Werthes von T für jedes gegebene Schwingungszahlen-Verhältniß die Größe t, also derjenige Amplituden-Theil gefunden werden, welchen die

Saite s auf ihrer Schwingungs-Weite in derselben Zeit durchlaufen muß, in welcher die Saite S einen bestimmten Theil ihrer Amplitude durchläuft.

Ist z. B. das Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2 gegeben, und die Saite S durchläuft in einer bestimmten Zeit den 0,25 Theil ihrer Amplitude und verhält sich sonach 1:2 = 0,25:x so erhält man x = 2 × 0,25 = 0,5 und es muß sonach in diesem Falle die Saite s die Hälfte ihrer Amplitude durchlaufen, während die Saite S nur den vierten Theil der ihrigen überschreitet.

Auf demselben Wege findet man auch die in Verhältniß-Zahlen ausgedrückten Amplituden-Theile, welche die Saite s bei den übrigen, oben in Anwendung gekommenen Schwingungszahlen-Verhältnissen, auf ihrer Schwingungsweite in der Zeit zu durchlaufen hat, in welcher die Saite S je nur den vierten Theil ihrer Amplitude durchläuft.

Hiebei erhält man bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie —

1:2	aus	den Verhältnissen	1:2	= 0,25:x	die Größe	x = 0,500
2:3	"	"	1:1,5	= 0,25:x	"	x = 0,375
3:4	"	"	1:1,333	= 0,25:x	"	x = 0,333
4:5	"	"	1:1,250	= 0,25:x	"	x = 0,312
5:6	"	"	1:1,200	= 0,25:x	"	x = 0,300
6:7	"	"	1:1,166	= 0,25:x	"	x = 0,291
7:8	"	"	1:1,143	= 0,25:x	"	x = 0,286
8:9	"	"	1:1,125	= 0,25:x	"	x = 0,281
9:10	"	"	1:1,111	= 0,25:x	"	x = 0,278
10:11	"	"	1:1,100	= 0,25:x	"	x = 0,275
11:12	"	"	1:1,090	= 0,25:x	"	x = 0,272
12:13	"	"	1:1,083	= 0,25:x	"	x = 0,271
13:14	"	"	1:1,077	= 0,25:x	"	x = 0,269
14:15	"	"	1:1,071	= 0,25:x	"	*x = 0,268

*) Hieraus ergibt sich, daß die Theile t und T, welche jede der Saiten S und s auf ihrer Amplitude in einer bestimmten Zeit zu durchlaufen hat, sich schließlich in hohem Grade nähern. Ein vollständiges Verschwinden dieses Unterschiedes kann jedoch nicht eintreten, so lange die Schwingungszahlen nur im Mindesten verschieden sind.

Wie oben gezeigt wurde, kommen, wenn die Amplitude der Saite S in 1000 gleiche Einheiten abgetheilt wird, auf die Amplitude der Saite s nur 500 solcher Einheiten.

Nach dem Vorstehenden durchläuft in derselben Zeit, in welcher die Saite S den 0,25 Theil ihrer Amplitude überschreitet, die Saite s den 0,50sten Theil ihrer Amplitude, und da nun der vierte Theil von 1000 = 250 und die Hälfte von 500 ebenfalls = 250 ist, so ergibt sich hieraus, daß, so oft die Saite S auf ihrer Amplitude 250 Einheiten überschreitet, auch die Saite s auf ihrer Amplitude 250 solcher Einheiten überschreiten muß.

Zu dem gleichen Resultate gelangt man sowohl hier als bei den übrigen, oben verzeichneten Schwingungszahlen-Verhältnissen, wenn man die, die Schwingungsweiten oder Amplituden in gleichen Einheiten ausdrückenden Zahlen mit den ihnen entsprechenden Verhältnißzahlen multiplicirt.

Wenn wir nun rechtwinklich zu einer beliebigen Linie A B in zwar willkührlicher aber gleicher Entfernung Parallelen ziehen und von den sich dabei umgebenden Durchschnittspunkten aus einige von den oben für die verschiedenen Schwingungszahlen-Verhältnisse berechneten Amplituden-Einheiten nach einem beliebigen größern Maaßstabe auf den beiden Seiten jener Linie auftragen, so erhalten wir, nach erfolgter Bezeichnung der betreffenden Punkte mit Buchstaben, die in der Fig. 1 gegebene Uebersicht über den Zusammenhang der den verschiedenen Schwingungszahlen-Verhältnissen entsprechenden Töne mit ihren Schwingungsweiten oder Amplituden. Dieser bildlichen Darstellung haben wir Folgendes erläuternd beizufügen:

1. Wenn die in allen Fällen weiter schwingende Saite S in einer bestimmten Zeit den vierten Theil ihrer Amplitude, also 250 Einheiten derselben überschreitet und damit den Weg von a bis b zurücklegt, so muß, nach dem Vorausgegangenen, bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2 die stets kürzer schwingende Saite s in derselben Zeit die Hälfte ihrer Amplitude, also ebenfalls 250 solcher Einheiten überschreiten, und zu diesem Zwecke den Weg von e bis f zurück legen.

Es muß deßwegen auch die Saite s in demselben Augenblicke bei f ihre Amplituden-Mitte überschreiten, in welchem die Saite S am Ende des ersten Viertels ihrer Amplitude, also auf dem Punkte b eintrifft.

Während der Zeit, in welcher die weiter schwingende Saite S das zweite Viertel ihrer Amplitude = bA durchläuft und in Folge dessen bei A ihre Amplituden-Mitte überschreitet, langt die Saite S am Ende ihrer Amplitude, also auf den Punkt g an.

Mit dem Ablaufe des dritten Zeitabschnittes langt die Saite S auf dem Punkte c ihrer Amplitude an, und in demselben Momente überschreitet die nun rückwärts schwingende Saite s auf dem Punkte f ihre Amplituden-Mitte zum zweiten Mal.

Am Schlusse des vierten Zeitabschnittes langt die Saite S bei d, also am Ende ihrer Amplitude in demselben Augenblicke an, in welchem die Saite s wieder auf ihrem Ausgangspunkte e eintrifft. Es hat sonach in der Zeit, in welcher die Saite S eine halbe Schwingung vollbrachte, die Saite s eine ganze Schwingung gemacht, daher die erstere in jener Zeit ihre Amplitude nur einmal, die letztere dagegen die ihrige zweimal überschritten, und da während der Zeit, in welcher die Saite S ihre zweite halbe Schwingung vollbringt, im Wesentlichen der ganz gleiche Vorgang stattfindet, indem in demselben Moment, in welchem die Saite S auf ihrem Rückwege die Punkte c, A, b und a erreicht, die Saite s auf den Punkten f und g, dann wieder auf f und endlich auf e eintrifft, so überschreitet bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2 die Saite S ihre Amplituden-Mitte nur zweimal, während die Saite s die ihrige viermal überschreitet.

2. Hiebei zeigt sich aber der Zeit nach eine merkwürdige Gleichförmigkeit in der Vertheilung dieser Amplituden-Mitten-Ueberschreitungen, indem die kürzer schwingende Saite s ihre Amplituden-Mitte ganz genau je in dem Augenblicke überschreitet, in welchem die weiter schwingende Saite S auf der Mitte ihrer halben Amplitude, nämlich auf den Punkten b und c angekommen ist, und dagegen die Saite S ihre Amplituden-Mitte jedesmal genau erst in dem Moment überschreitet, in

welchem die Saite s an dem einen oder dem andern Ende ihrer Amplitude anlangt.

3. Da nun nach dem Vorausgegangenen, diejenigen Töne einer schwingenden Saite, welche diese während dem Durchlaufen ihrer Amplituden-Mitte erzeugt, in allen Fällen auf das Ohr einen merklich stärkern Eindruck machen müssen, als die, welche aus ihren Bewegungen in den Seiten-Theilen ihrer Amplitude resultiren, und, wie so eben gezeigt wurde, jene stärkern Töne genau in die Mitte der Zeit fallen, während welcher jede der beiden Saiten nur schwächere Töne zu erzeugen vermag, dieselben somit eine vollkommen regelmäßige Hebung der schwächern Töne bewirken, so kann auch der Grund, warum die Töne zweier ungleich schwingenden Saiten, deren Schwingungszahlen sich wie 1:2 verhalten, nächst dem Einklange am harmonischsten zusammenfließen nur auf dieser zwar einfachen aber streng regelmäßigen Ausgleichung der schwächern und stärkern Töne beruhen.

4. Wie schon gezeigt wurde, muß bei dem Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 in der Zeit, in welcher die Saite S den vierten Theil ihrer Amplitude a d durchläuft, also die zwischen a und b liegenden 250 Einheiten überschreitet, die Saite s die Hälfte ihrer Amplitude, also die zwischen e und f liegenden 250 Einheiten überschreiten.

Bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 2:3 muß dagegen in der Zeit, in welcher die Saite S den vierten Theil ihrer Amplitude durchläuft, also den Weg zwischen a und b zurücklegt, die Saite s den 0,375 Theil ihrer Amplitude durchlaufen.

Durch Multiplikation dieser Verhältnißzahl mit der Zahl 666 erhält man dieselbe in 249,7 oder rund 250 Amplituden-Einheiten ausgedrückt. Wird diese Zahl von Amplituden-Einheiten der Saite s von h aus auf ihre Amplituden-Linie h m aufgetragen, so erhält man den Punkt i, auf welchem diese Saite in demselben Moment ankommen muß, in welchem die Saite S von a aus auf dem Endpunkte des ersten Viertels ihrer Schwingungsweite, also auf dem Punkte b eintrifft.

Während ein zweiter gleicher Zeittheil z verstreicht, durchläuft die Saite s ihren zweiten Amplituden-Theil i l, überschreitet dabei

ihre Amplituden=Mitte und kommt in dem gleichen Augenblicke auf den Punkt l an, in welchem die Saite S auf dem Punkte A eintrifft, und diese dort ebenfalls die Mitte ihrer Schwingungs=weite überschreitet.

Im Laufe des dritten, ebenso langen Zeittheiles z bewegt sich die Saite s von l nach m und langt dabei auf der Grenze ihrer Amplitude an.

Da dieselbe aber zur Zeit ihrer Ankunft auf dem Punkte m noch nicht 250, sondern erst 166 Amplituden=Einheiten überschritten hat, so muß sie während dem Ablaufen des Zeitrestes, auf ihrem Rückwege die noch fehlenden 84 Amplituden=Einheiten durchlaufen und dabei auf dem Punkte n'* in demselben Augenblicke eintreffen, in welchem die Saite S auf dem Punkte c ihrer Amplitude anlangt.

Mit dem Anfange des vierten Zeittheiles z fängt die Saite s an den Weg von n' bis o' zurückzulegen, und während dieß geschieht, überschreitet die Saite S die zwischen c und d liegenden 250 Amplituden=Einheiten, dabei langt die Saite S in demselben Momente auf dem Punkte d an, in welchem die Saite s ihre Amplituden=Mitte bei o' überschreitet.

Nun tritt die Saite S ihren Rückweg ebenfalls an, und kommt mit dem Ablaufe des fünften Zeittheils z in demselben Augenblicke auf dem Punkte c wieder an, in welchem die Saite s auf dem Punkte p' eintrifft.

Während dem sechsten Zeittheil z bewegt sich die Saite s zunächst bis an die Grenze ihrer Amplitude bei h' und weil p' h' nur 82 Amplituden=Einheiten enthält, geht sie auf der dritten Parallele h'' m'' von h'' nach q'' zurück und überschreitet dabei während dem Ablaufe des Zeitrestes die noch fehlenden 168 Amplituden=Einheiten. In derselben Zeit durchläuft die Saite S den sechsten Theil ihrer ganzen Schwingung, also den Weg von c nach A und überschreitet dort ihre Amplituden=Mitte in demselben Mo=

*) Der Deutlichkeit wegen wollen wir die Saite S die weitern zwei Hin= und Hergänge auf den Parallelen h' m' und h'' m'' vollziehen lassen.

ment, in welchem die Saite s (von h'' aus) auf dem Punkte q'' angekommen ist.

Mit dem Ablaufe des siebenten und achten Zeittheils kommt endlich die Saite S auf den Punkten b und a in demselben Augenblicke an, in welchen die Saite s auf den Punkten r'' und m'' eintrifft, und es vollzieht also diese Saite ihre anderthalb Schwingungen ganz genau in derselben achttheiligen Zeitperiode in welcher die Saite S eine ganze Schwingung vollbringt.

Wie im Vorausgegangenen nachgewiesen wurde, machen die Saiten S und s durch eine äußerst regelmäßige gegenseitige Unterstützung sich es möglich, bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2 diejenigen Töne zu erzeugen, von welchen gesagt werden kann, daß sie nächst dem Einklange am harmonischsten zusammenfließen.

Nun hat sich aber aus der so eben angestellten Betrachtung des zweiten Theils der bildlichen Darstellung in der Figur 1 ergeben:

a. daß jene regelmäßige gegenseitige Unterstützung und die aus derselben resultirende Ausgleichung der schwächern und stärkern Töne der Saiten S und s bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 2:3 in einem weit geringeren Grade stattfindet, indem dabei die Saite s schon im Anfange ihrer Bewegung dadurch eine sehr augenfällige Abweichung von jener Ordnung zeigt, daß sie nicht mehr, wie bei dem Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 ihre Amplituden-Mitte in demselben Momente überschreitet, in welchem die Saite S von a aus bei b ankommt, sondern nur den Punkt i zu erreichen vermag;

b. daß, weil in Folge dessen die Augenblicke, in welchen jede der beiden Saiten die Linie A B, also ihre Amplituden-Mitte in A und f überschreitet, um ein sehr Ansehnliches näher zusammen fallen, als bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2, auch die aus diesen Ueberschreitungen resultirenden Tonverstärkungen im gleichen Maaße näher zusammen treffen, und damit die nöthige Ausgleichung zwischen den schwächern und stärkern Tönen im Verhältniß dieses nähern Zusammentreffens verhindern müssen;

c. daß nach diesem, die Harmonie störenden Akte, die beiden Saiten S und s nahezu gleichzeitig in den Gebieten ihrer schwächern Tonerzeugungen, nämlich bei c und m, beziehungsweise bei c und n′ schwingen,* und damit gegenüber der eben bezeichneten, unregelmäßigen Tonverstärkung eine Tonschwächung bewirken müssen, welche eine genügende Ausgleichung zwischen den stärkern und schwächern Tönen ebenfalls in hohem Grade unstatthaft macht, u. s. w.

Da nun hiernach bei dem Schwingungs-Verhältniß wie 2:3 nicht nur die Dauer der schwachen Töne beinahe durchweg eine sehr ungleiche ist, sondern sehr oft die Extreme dieser schwächern Töne mit den unregelmäßigen Tonverstärkungen zusammenfallen, so muß es erklärlich erscheinen, warum die aus dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 2:3 resultirenden Töne dem Ohr zwar noch sehr angenehm sein können, aber dennoch schon einige Rauheit erkennen lassen.

Nun wollen wir behufs weiterer Nachweisung der Gründe, aus welchen bei gewissen Schwingungszahlen-Verhältnissen zweier Töne ein Uebergang aus dem Einklange zunächst in weniger harmonische Töne und von diesen in Mißtöne stattfinden muß, noch zur Prüfung eines Theils derjenigen Erscheinungen übergehen, welche uns das Schwingungszahlen-Verhältniß wie 3:4 darbietet.

„Auch diese Tonverbindung klingt noch immer angenehm, „jedoch nicht im gleichen Grade wie die letzte. Die dort her- „vorgetretene Rauheit ist hier noch ein wenig ausgesproche- „ner.“ (Tyndall, Seite 366.)

Auch hier wollen wir der Deutlichkeit wegen die Bewegungen der Saite s auf drei Parallellinien darstellen.

A. Bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 3:4 muß in der Zeit, in welcher die Saite S eine Schwingung macht, die Saite s deren 1,333 vollziehen.

---

*) Weil sich dabei die Saite s schon auf dem Rückwege von m′ nach n′ befindet.

Während der Zeit, in welcher die Saite S den vierten Theil, also den Abstand a b ihrer Amplitude durchläuft, muß die Saite s den dritten Theil a′ b′ ihrer Amplitude a′ e′ = 750 Amplituden-Einheiten durchlaufen.

Bei dem Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 überschreitet die Saite s ihre Amplituden-Mitte bei f in demselben Augenblicke, in welchem die Saite S am Ende des ersten Viertels ihrer Schwingungsweite, also auf dem Punkte b ankommt.

Dagegen erreicht bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 3:4 die Saite s in derselben Zeit nur den Punkt b′ und bleibt daher von ihrer Amplituden-Mitte noch um weit mehr entfernt, als bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß von 2:3.

Es kann deßwegen auch der Saite s nicht möglich sein, durch ihre nur schwache Töne erzeugende Bewegung von a′ nach b′ die schwachen Töne der Saite S in irgend welchem Grade zu verstärken.

B. Da nun in dem zweiten Zeittheile z, während welchem die Saite s sich von b′ nach d′ bewegt, und dabei ihre Amplituden-Mitte überschreitet, die Saite S aus b auf A anlangt und dort ebenfalls die Linie ihrer Amplituden-Mitte durchschneidet, so fallen die aus diesen Ueberschreitungen hervorgehenden Tonverstärkungen beider Saiten der Zeit nach so nahe zusammen, daß sie mit den kurz vorher erzeugten schwachen Tönen noch viel weniger harmonisch abfließen können, als bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß von 2:3, und deßwegen auch die daraus folgende Rauheit der Töne schon in einem höhern Grade hervortreten muß als bei dem ebenbezeichneten Schwingungszahlen-Verhältniß.

C. Im Laufe des dritten Zeittheils z bewegt sich die Saite s von d′ nach e′, also in dem Gebiet ihrer schwächsten Tonerregung. In derselben Zeit langt die Saite S bei c, also an der Grenze ihres schwächsten Tonerregungs-Gebietes an, und muß daher dieses Zusammentreffen der schwächsten Töne gegenüber den vorausgegangenen Tonverstärkungen ebenfalls wieder eine sehr merkliche Störung der Harmonie zur Folge haben.

D. Während dann die Saite s im vierten Zeittheil z sich von dem Ende ihrer Amplitude, also von f′ nach g′ zurück bewegt,* läuft die Saite S von c nach d, und da sich auch in dieser Zeit beide Saiten in dem Gebiete ihrer schwächsten Tonerregung bewegen, so wird damit die Dauer der schwachen Töne in einem solchen Maaße verlängert, daß selbst eine darauf folgende mäßige Tonverstärkung auf das Ohr einen stoßartigen Eindruck machen muß.

Eine Fortsetzung dieser Vergleichungen und deren Ausdehnung auf die Schwingungszahlen-Verhältnisse wie 4:5, 5:6, 6:7 u. s. w., führt zu ganz ähnlichen Resultaten.

Hievon kann man sich übrigens noch übersichtlicher auf anderem Wege dadurch überzeugen, daß man die in der Fig. 2 bildlich dargestellten, den verschiedenen Schwingungs-Verhältnissen entsprechenden ersten Hingänge der Saiten S und s einer nähern Betrachtung unterstellt.

Aus dieser Darstellung ist u. a. Folgendes zu ersehen:

I. Wenn zwei Saiten S und s in der Weise ungleich schwingen, daß die erstere durchaus gleichmäßig fortschwingt, die letztere dagegen die Zahl ihrer Schwingungen nach jedem Hin- und Hergange in einer gewissen absteigenden Ordnung ändert, so wird die Schwingungsweite der Saite s in dem Verhältniß länger, in welchem die ihre Schwingungen ausdrückenden Zahlen kleiner werden.

II. Die sich hiebei für die Schwingungsweiten der Saite s ergebenden Differenzen werden in dem Maaße kleiner, in welchem die ihre Schwingungszahlen ausdrückenden Größen sich nähern.

III. Je mehr die Schwingungsweite der durchaus kürzere Schwingungen vollziehende Saite s zunimmt, desto später trifft dieselbe bei jedem Hingange auf ihre Amplituden-Mitte AB ein, und es kann, wie aus der Figur 2 deutlich zu ersehen ist, bei fortgesetzter Zunahme der Schwingungsweite der Saite s jene Verspätung nach und nach einen solchen Grad erreichen, daß diese

*) Der Deutlichkeit wegen ist diese Bewegung auf die zweite Parallele verlegt.

Saite dadurch gezwungen wird, sich beinahe eben so lange Zeit im Bereiche der ersten Hälfte ihrer Amplitude zu bewegen, als die Saite S braucht, um die erste Hälfte ihrer Schwingungsweite zu durchlaufen.

IV. Das, was hiernach bei dem Hingange der beiden Saiten S und s, also während ihrer Bewegung im Gebiete ihrer ersten Amplituden-Hälften geschieht, findet in ähnlicher Weise auf der zweiten Hälfte ihrer Schwingungsweite statt, indem diese Saiten sich bei ihrem Rückgange ebenfalls während einem nahezu gleichen Zeitraum auf dieser Amplituden-Hälfte bewegen.

V. Es wurde aber gezeigt, daß die immer kürzere Schwingungen vollziehende Saite s bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß wie 1:2 die Aufgabe hat, bei jedem Hin- und Hergange durch ein rechtzeitiges Eintreffen auf ihrer Amplituden-Mitte die aus den Bewegungen der Saite S resultirenden schwachen Töne zu kräftigen und damit ein harmonisches Abfließen der aus den Schwingungen beider Saiten hervorgehenden Töne herbeizuführen.

Nun ergibt sich aber aus dem Vorgetragenen, daß der Saite s die Lösung dieser Aufgabe in dem Verhältniß weniger möglich wird, in welchem sie bei ihren Hin- und Hergängen auf ihrer Amplituden-Mitte zu spät ankommt, und daß daher auch nach dem Grade dieser Verspätung ein harmonisches Abfließen der aus den Schwingungen der beiden Saiten hervorgehenden Töne weniger möglich sein kann.

Den Folgen dieses mangelhaften Verhaltens der Saite s schließt sich jedoch noch der große Uebelstand an, daß in dem Verhältniß, in welchem diese Saite auf ihrer Amplituden-Mitte zu spät eintrifft, auch die Zeitabstände kürzer werden, in welchen die beiden Saiten S und s ihre gemeinschaftliche Amplituden-Mitte überschreiten und in Folge dessen die Unterschiede zwischen den schwächsten und stärksten Tönen nach und nach immer größer und dadurch dem Ohr im gleichen Verhältniß unangenehmer werden.

Bei dem Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 hat die Saite S während jeder ganzen Schwingung ihre Amplituden-Mitte zweimal und die Saite s die ihrige viermal zu überschreiten. Nimmt man an, daß jede dieser Ueberschreitungen in der Amplitude der

Saite S eine regelmäßige wellenartige Erhöhung* hervorbringe, so erhält man das Bild eines längern höchst regelmäßigen Wellenverbandes, in welchem die aus den Amplituden-Ueberschreitungen der Saite s hervorgehenden Theile vollkommen gleich sind, und auch ganz gleich bleiben, so lange das Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 keine Aenderung erleidet.

Es kann nicht zweifelhaft erscheinen, daß bei ganz unverändertem Hin- und Hergange der Saite S schon die geringste Veränderung in der Bewegung der Saite s auch eine entsprechende Aenderung in den aus den Bewegungen dieser Saite resultirenden wellenförmigen Erhöhungen zur Folge haben muß, und daß diese Erhöhungen genau in dem Verhältniß unregelmäßiger werden müssen, in welchem die Saite s ihre Amplituden-Mitte zu spät, beziehungsweise zu früh überschreitet.

Nun bedarf es wohl keines besondern Nachweises dafür, daß diese Unregelmäßigkeiten nicht auf eine bloße Aenderung in der Form der aus den abnormen Bewegungen der Saite s hervorgehenden wellenförmigen Erhöhungen beschränkt sein kann, sondern dieselben sich auch auf die Größe dieser Erhöhungen ausdehnen müssen, und daß in Folge dessen auch der Weg, auf welchem die beiden Saiten S und s, die Töne gemeinschaftlich erzeugen, in dem Verhältniß ein mehr holperiger, also rauherer sein muß, in welchem die Schwingungs-Verhältnisse dieser Saiten von dem Schwingungs-Verhältniß wie 1:2 abweichen.

Hieraus, und aus dem Vorausgegangenen überhaupt läßt sich nun vollkommen ausreichend erklären, warum die Verbindung zweier Töne das Ohr um so rauher und unangenehmer berührt, je größer die das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Zahlen sind, und umgekehrt „die Verbindung zweier Töne dem Ohr desto „angenehmer ist, je kleiner die Zahl ist, welche das Verhältniß „ihrer Schwingungen ausdrückt."

---

*) Selbstverständlich kann man sich eben so gut eine Vertiefung oder irgend welche andere Form denken, da es sich ja hier blos um ein Bild handelt, um auf dasselbe die weiter nothwendigen Folgerungen stützen zu können.

Da jedoch bei den Schwingungszahlen-Verhältnissen wie 1:2, 2:3, 3:4 u. s. w., wo also je nur eine von den das Verhältniß ausdrückenden Größen eine ungerade Zahl ist, es den beiden Saiten S und s durchaus unmöglich ist, ihre Amplituden-Mitten genau gleichzeitig zu überschreiten, so können dieselben auch immer nur jene Ton-Rauhigkeit in verschiedenem Grade, niemals aber diejenigen Tonverstärkungen hervorbringen, welche das Ohr als sogenannte Stöße empfindet, und sind deßwegen auch diese Tonerregungen von denjenigen stets zu unterscheiden, aus welchen die sogenannten Combinationstöne hervorgehen.

§ 23.

Die Combinationstöne.

Bisher haben wir nur solche Schwingungs-Verhältnisse der Saiten S und s einer nähern Betrachtung unterstellt, bei welchen blos die eine von den das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Zahlen eine gerade, die andere dagegen durchweg eine ungerade Zahl war.

Nun wollen wir auch untersuchen, zu welchen Resultaten man gelangt, wenn beide das Schwingungs-Verhältniß ausdrückende Größen ungerade Zahlen sind.

Behufs einer überzeugenden Lösung dieser Frage braucht man blos die dabei in Betracht kommenden Schwingungs-Verhältnisse in der schon gezeigten Weise bildlich darzustellen, wie dieß bezüglich der Schwingungs-Verhältnisse von 1:2, 2:3, 3:4 u. s. w. in den Figuren 1 und 2 geschehen ist. Hiebei ergibt sich, daß, wenn die das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Größen durchaus in ungeraden Zahlen bestehen, die Amplituden-Ueberschreitungen der Saiten S und s nicht, wie bei den Schwingungs-Verhältnissen von 1:2, 2:3, 3:4 u. s. w. in, ihrer Dauer nach abnehmenden Zeitabschnitten auf einander folgen, sondern stets genau je in demselben Augenblicke stattfinden, so oft ihre Bewegungen ein solches Zusammentreffen gestatten.

Dieses geschieht in einer gewissen Zeit

2 mal,	wenn sich	die Schwingungszahlen	wie	1:3
6	"	"	"	"	3:9
18	"	"	"	"	9:27
54	"	"	"	"	27:81
162	"	"	"	"	81:243
486	"	"	"	"	243:729
1458	"	"	"	"	729:2187
4374	"	"	"	"	2187:6562
13124	"	"	"	"	6562:19686

verhalten u. s. w.

In allen diesen Fällen ist die Zahl der Augenblicke, in welchen die beiden Saiten ihre Amplituden-Mitten gleichzeitig überschreiten, genau der Differenz zwischen den das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Zahlen gleich.

Auch hier, wie bei dem Schwingungszahlen-Verhältniß = 1:2 bewirkt die kürzer schwingende Saite s ebenfalls eine ganz regelmäßige Kräftigung der schwachen Töne der Saite S. Wenn aber die aus den Schwingungs-Verhältnissen ungerader Zahlen hervorgehenden Töne sich dennoch nicht ebenfalls zu einem dem Ohre angenehmen Tone vereinigen können, so hat dieses seinen Grund in dem Umstande, daß bei diesen Schwingungs-Verhältnissen die beiden Saiten S und s ihre Amplituden-Mitten nicht immer zu verschiedenen Zeiten, sondern je nach Ablauf gewisser Zeitabschnitte genau gleichzeitig überschreiten, und dadurch Tonverstärkungen erzeugen, die nach Maaßgabe der Differenz zwischen den das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Zahlen in kürzern oder längern Zeiträumen aufeinander folgen, und sich dem Ohr als stoßförmige Tonhervorregungen ankündigen. Wie aus den so eben, durchaus in ungeraden Zahlen dargestellten Verhältnissen hervorgeht, ist die Zahl dieser sich in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Sekunde vollziehenden Stöße, je nach der Differenz der die Schwingungs-Verhältnisse ausdrückenden Zahlen sehr verschieden, und bei kleinern absoluten Schwingungs-Zahlen oder schwächern Schwingungs-Geschwindigkeiten so gering, daß die Zeittheile,

in welchen sie aufeinander folgen, lang genug sind, um jene Stöße leicht zählen zu können.

Nun nimmt aber die Zahl dieser Stöße auch genau in dem Verhältniß zu, in welchem die Differenz der das Schwingungs-Verhältniß ausdrückenden Zahlen, oder die Schwingungs-Geschwindigkeit größer wird, und es müssen natürlich in Folge dessen auch die Zeittheile, nach welchen jene Stöße aufeinander folgen, im gleichen Verhältniß kleiner und endlich so klein werden, daß sich diese Tonverstärkungen schließlich zu einem zusammenhängenden Ganzen vereinigen und sich in dieser Vereinigung dem Ohr als dasjenige ankündigen, was man Combinations-Töne nennt.

Die Hervorbringung von Combinations-Tönen ist jedoch nicht auf die Anwendung der Saiten beschränkt, indem, wie sich nachweisen läßt, beliebig gewählte Körper solche Töne erzeugen, wenn die das Verhältniß der absoluten Schwingungszahlen ausdrückenden Größen in ungeraden ganzen und in höhern Zahlen bestehen, oder bei geringern absoluten Schwingungszahlen die Schwingungs-Geschwindigkeit einen verhälnißmäßig höhern Grad erreicht. Durch ein genau richtiges Beschweren der einen Zinke einer Stimmgabel, etwa mit Wachs, kann diese zur Erzeugung von wirklichen Stößen und, wenn diese rasch genug aufeinander folgen, zur Hervorbringung eines Combinationstones veranlaßt werden.

Ist aber diese Beschwerung im Geringsten zu groß oder zu klein, also von der Art, daß die ungleichen Schwingungen der beiden Saiten nach einem andern Verhältniß, etwa nach dem wie 3:4, 4:5 u. s. w. stattfinden, so kann daraus zwar wohl eine kleinere oder größere Rauhigkeit des Tones, niemals aber ein eigentlicher Combinationston entstehen.

„Selbst bei einer einzelnen Glocke, namentlich wenn sie „eine bedeutende Größe hat, bemerkt man ein abwechselndes Anschwellen und Nachlassen des Tones, weil die durch „die Knotenlinien gebildeten Theile nach Masse und Elastizität niemals vollständig gleich sind, so daß auch ihre

„Schwingungs-Zahlen ungleich sein müssen.“ (Spiller, Seite 211.)

Aber auch diese Ungleichheit in den Schwingungszahlen hat nur dann die Erzeugung eines Combinationstones zur Folge, wenn dieselbe auf der Erfüllung der so eben näher bezeichneten Bedingungen beruht.

Inhalts-Verzeichniß.

Erste Abtheilung.

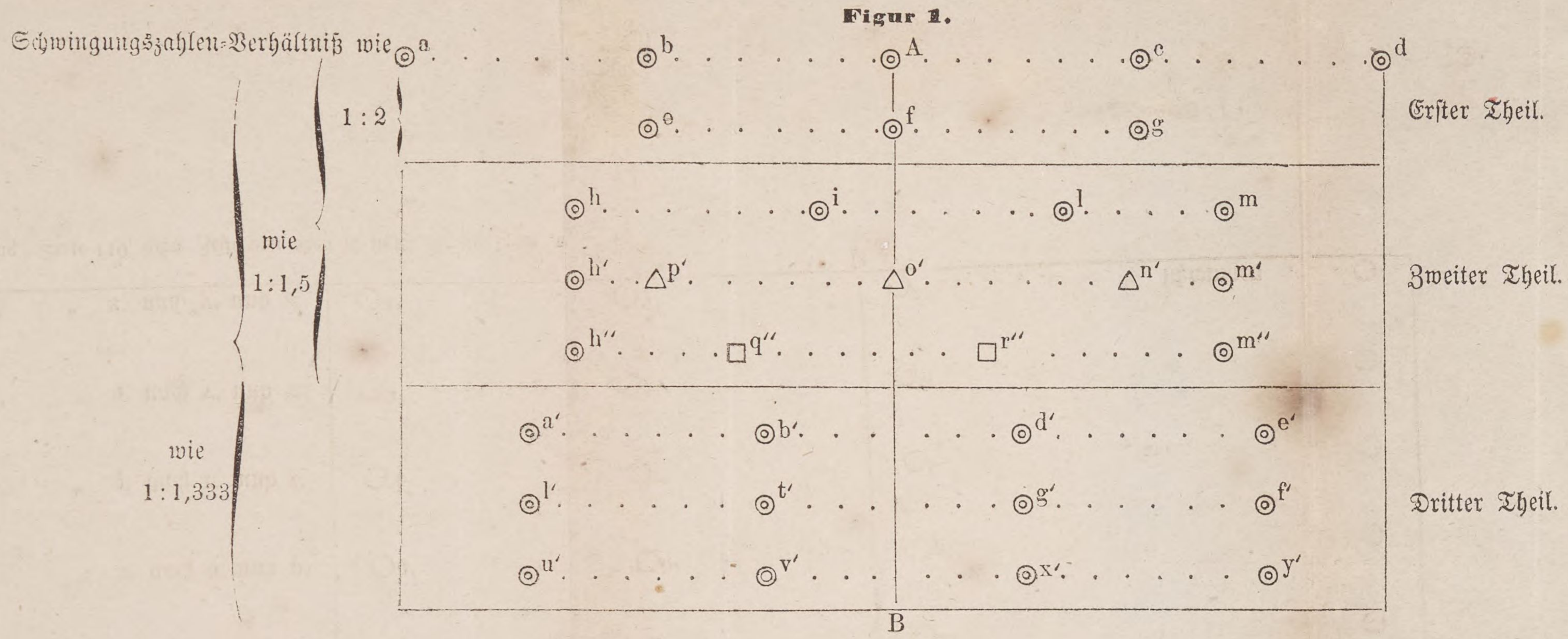
Betrachtungen über die derzeitige Schalltheorie.

Zweite Abtheilung.

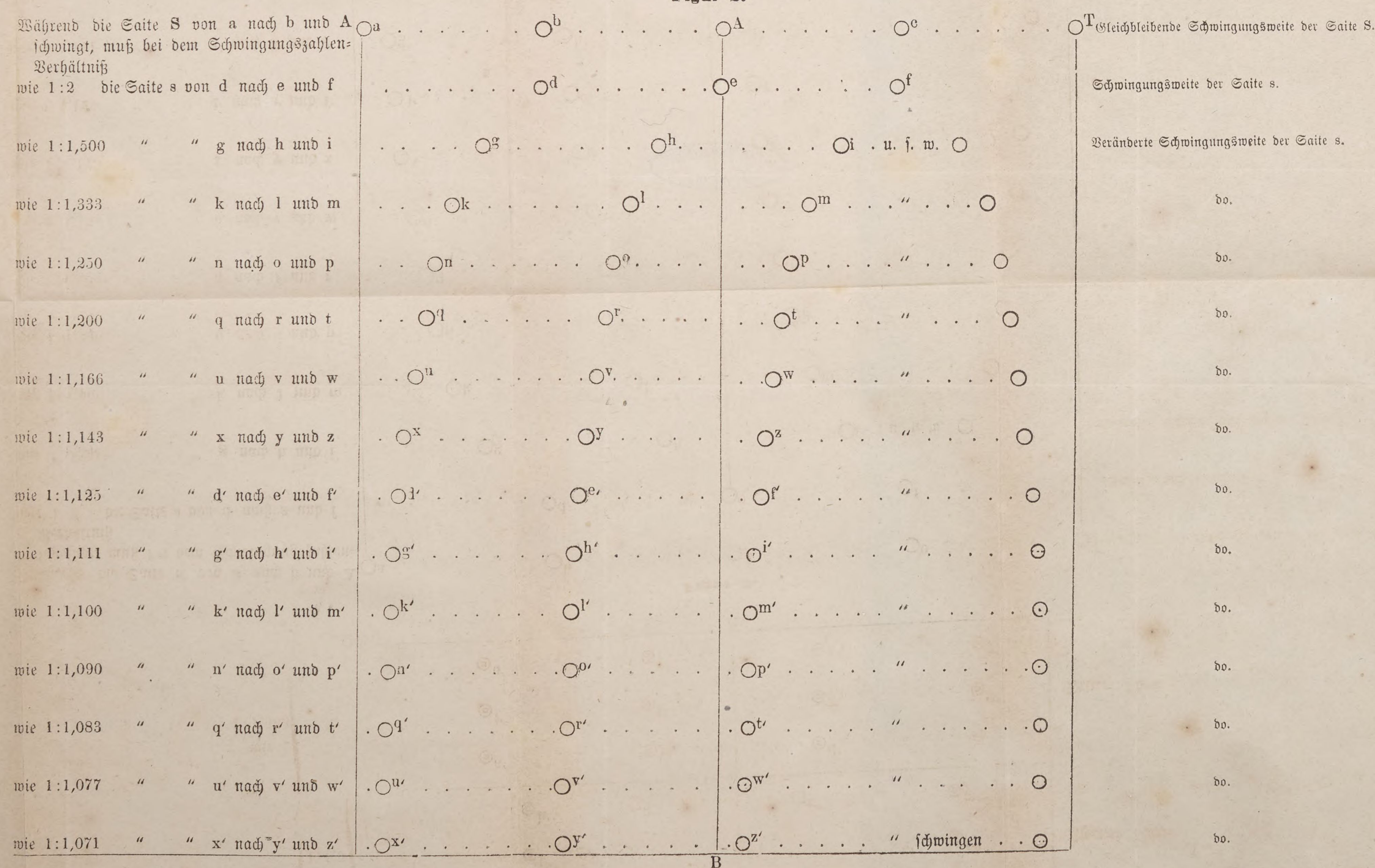
Von dem Wesen des Schalls und Erklärung der wichtigeren Erscheinungen in dem Gebiete der Akustik aus demselben.

Amplitude oder Schwingungs-Weite.

Figur 1.



Figur 2.



☞ Anmerkung: Seite 110, achte Zeile von oben ist statt „S" zu lesen „s".

Karl, Heinrich

Der Weltäther als Wesen des Schalles

Sigmaringen 1872